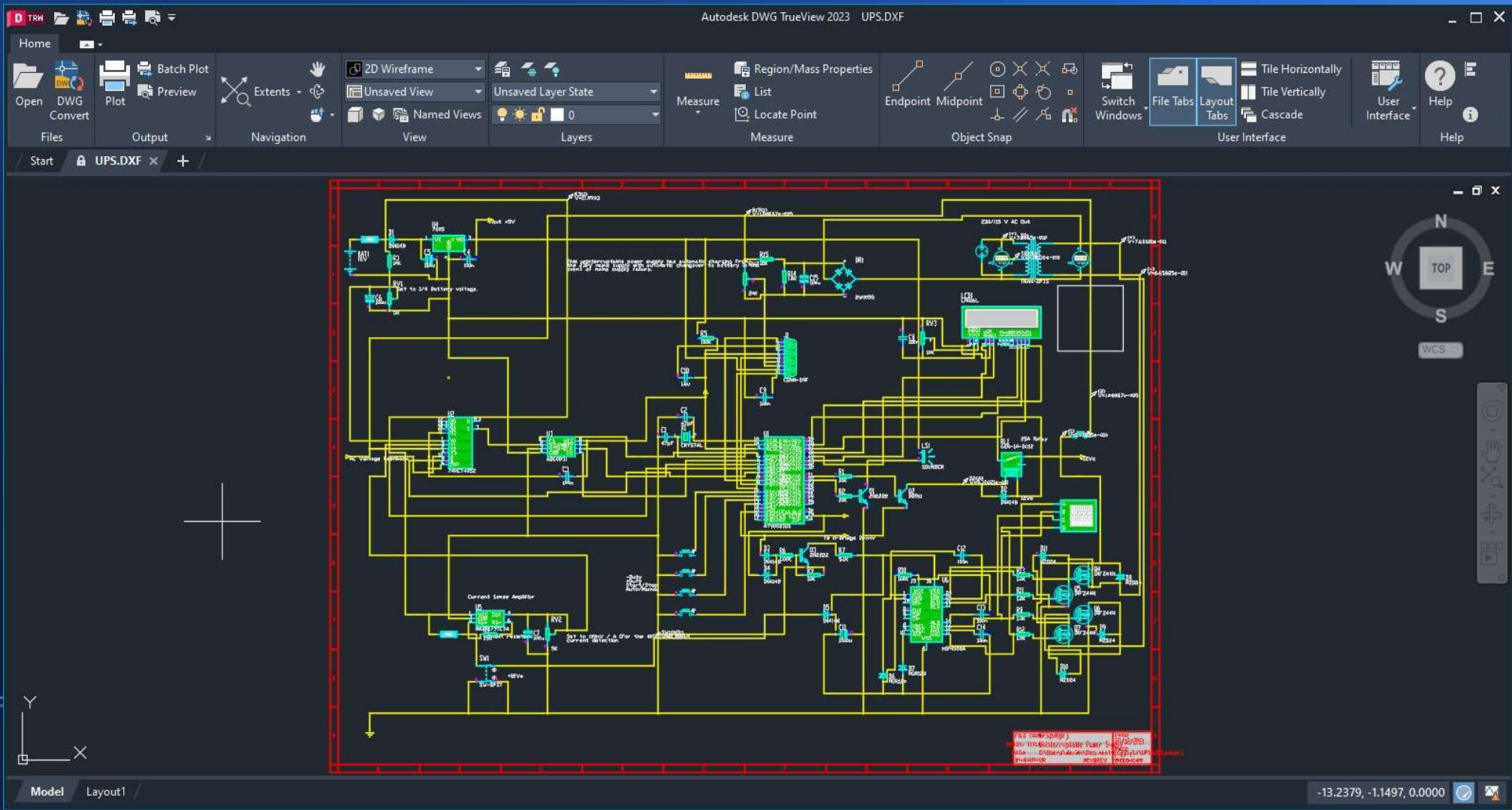
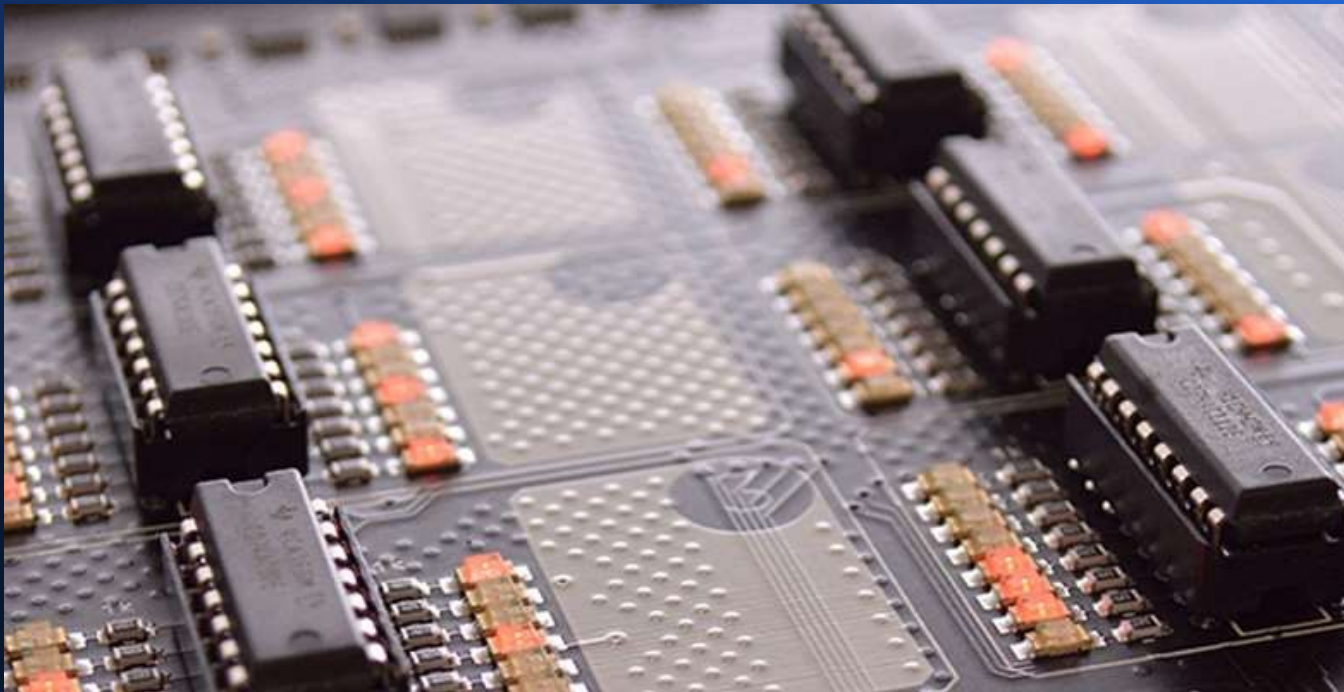


Попередній дизайн у вигляді схеми САД (Computer Aided Design). Авторське право ©



Вступ до електроніки

- "Електроніка - це маніпулювання електрикою для виконання певного завдання, і це дуже практичне заняття. Оскільки результатом створення електронних схем зазвичай є пристрій, який виконує певне завдання, цей практичний аспект має бути



самоочевидним".

Електроніка є фундаментальною для життя 21st століття!

- Електронні пристрої та системи мають фундаментальне значення для сучасного життя. У цьому вступному курсі я покажу вам, наскільки електронні пристрої та системи відіграють важливу роль у сучасному житті, пронизують усе, що ми робимо, і поясню деякі ідеї, які є фундаментальними для пояснення їхньої роботи.
- Просунуті сучасні електронні пристрої часто називають автономними.
- Будь-яка автономна система має три фундаментальні аспекти: сприйняття навколишнього середовища за допомогою датчиків, міркування за допомогою логіки та обробка інформації, а потім взаємодія з навколишнім середовищем за допомогою виконавчих механізмів. Разом вони відомі як цикл "зондування-логіка-дія".

Важливе попередження про безпеку!

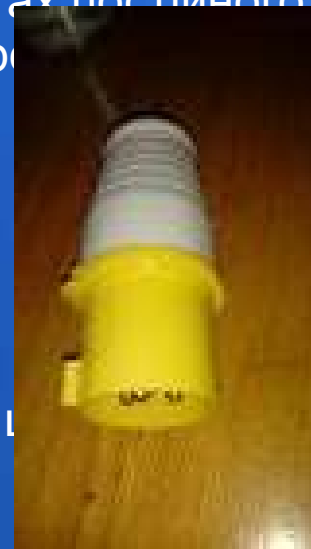
- Хоча я міг би згадати пристрої, що працюють при більш високій напрузі (наприклад, настільний блок живлення від мережі), всі представлені схеми працюють при максимальній напрузі 24 вольтів - **більшість з них працюють при 12 вольтів або менше.**
- Буде надана детальна інформація про те, як жити ланцюги. **Однак, за жодних обставин не можна використовувати електромережу у вашому домі для проведення демонстрації. У всьому світі в електромережах використовується напруга 100 вольт (Японія), 110 вольт (США), 220 вольт (Китай), 230 вольт (Великобританія/ЄС) і 240 вольт (Австралія). Всі вони дуже небезпечні як з точки зору напруги, так і з точки зору струму, який вони здатні передавати. Ніколи не піддавайтеся спокусі використовувати мережеве живлення для живлення ваших схем. Я не можу переоцінити цей момент.**
- Відповідні джерела живлення включають батареї (деталі будуть надані пізніше) та схвалені настільні блоки живлення (як правило, інтегральні

Електрика та електроніка: Різниця

- Електроенергія - це електромагнітна енергія, яка протікає по ланцюгу, щоб приводити в дію щось на кшталт електродвигуна або нагрівального елемента, живлячи такі прилади, як електричні плити, чайники, транспортні засоби та верстати. Як правило, електроприлади потребують великої кількості енергії, щоб змусити їх працювати, тому вони використовують досить великі (і часто досить небезпечні) електричні струми. Нагрівальний елемент потужністю 2300 Вт всередині електричного чайника (що працює від європейської напруги 230 вольт) споживає струм силою 10 ампер. Натомість електронні компоненти використовують струми, що вимірюються в міліамперах (мА) або навіть мікроамперах (аА) (які становлять тисячні та мільйонні частки ампера відповідно)! Іншими словами, типовий електричний прилад, швидше за все, використовує струми в десятки, сотні або навіть тисячі разів більші, ніж типовий електронний - крім того, мережа живлення має відносно високу напругу змінного струму, наприклад: 100В (Японія), 110В (США), 220В (Китай), 230В (Великобританія/ЄС) і 240В (Австралія).

Електрика та електроніка: Різниця

- Візьмемо для прикладу мікрохвильову піч. Електричний струм забезпечує живлення, яке генерує високоенергетичні радіохвилі на частоті 2,4 ГГц, які готують вашу їжу; електронна схема контролює роботу та функції таймерів.
- На відміну від високовольтної мережі змінного струму, електронні схеми не працюють при низьких напругах постійного струму. Наприклад, TTL-схеми (транзисторно-транзисторна логіка) працюють лише при 5 вольтах постійного струму - напрузі стандартного американського зарядного пристрою.
- Зліва: спеціальний зарядний пристрій, який я розробив для зарядки USB-пристроїв у будівельній галузі у Великобританії та Ірландській Республіці. Постачання - це знижена низьковольтна напруга (55-0-55 вольт змінного струму, що є безпечним). Це значно безпечніше, ніж мережеве живлення 230 вольт у будівельній галузі.



Аналогова та цифрова електроніка: різниця

- Існує два дуже різних способи зберігання інформації - аналоговий і цифровий. Більшість речей, які ми хочемо виразити, є аналоговими величинами - інтенсивність звуку, температура, інтенсивність світла і, звичайно ж, напруга є прикладами. Традиційні методи запису звуку, такі як вінілові платівки та касети, є аналоговими. Запис є "аналогією" звуку.
- Однак сучасний запис зберігає звук зовсім по-іншому. Замість того, щоб зберігати впізнаваний шаблон звуку, який буде відтворюватися безпосередньо, він перетворює амплітудні та частотні компоненти на двійкові числа і зберігає їх замість цього. Зберігання числової, закодованої версії чогось називається цифровим.

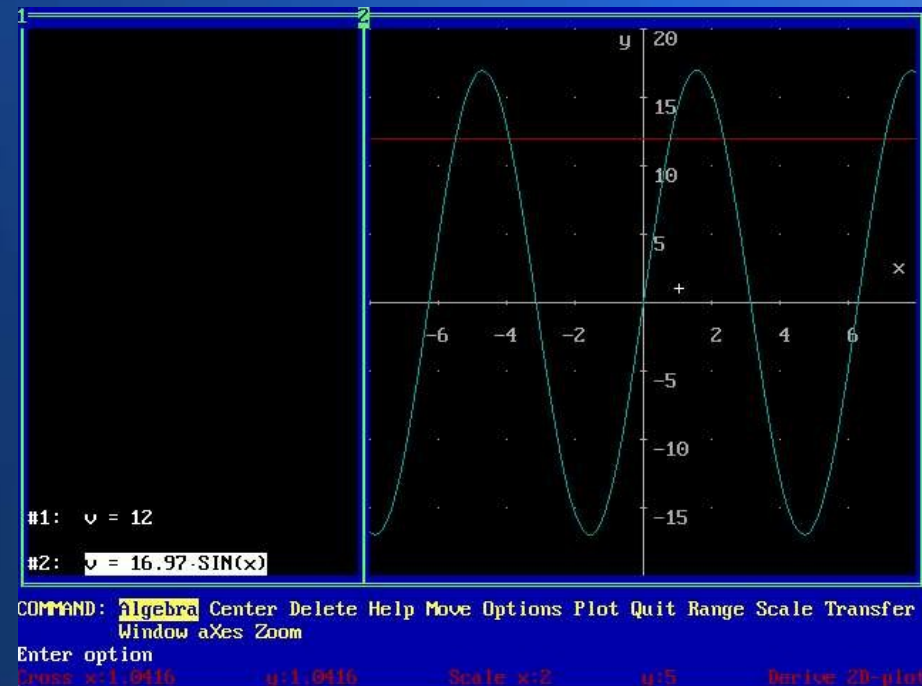
Постійний і змінний струм

- Насправді існує два основних "типи" електроенергії - постійний і змінний струм.
- Постійний струм тече тільки в одному постійному напрямку. Прикладами джерел є акумулятори, динамо-машини та фотоелектричні (сонячні) панелі.
- Змінний струм має циклічні зміни напруги та полярності. Кількість змін за секунду називається частотою, яка вимірюється в герцах. У Північній та Південній Америці частота змінного струму становить 60 циклів на секунду (60 Гц), а в решті світу - 50 циклів на секунду (50 Гц).
- Напругу джерела постійного струму легко виміряти! А як щодо змінного струму? Тут RMS (що означає середньоквадратичне значення) - "середня" напруга.
- Для синусоїди середньоквадратичне значення напруги = пікова напруга / $\sqrt{2}$.

ПЕРЕМІННИЙ ТА ПОСТІЙНИЙ СТРУМ

- Постійний струм, показаний червоним кольором, має постійну напругу і напрямок. Це 12 вольт, як від автомобільного акумулятора. Змінний струм, показаний синім, має частоту і середньоквадратичну напругу.
- Змінний струм має

середньоквадратичну напругу 12 вольт, а пікова напруга становить $12 \times \sqrt{2} \approx 16,97$ В. Програмне забезпечення - Derive від Texas Instruments.



Електронні компоненти

- Схеми всередині електронного обладнання на перший погляд здаються незрозумілими: вони наповнені компонентами, які виконують різні функції, а компоненти з'єднані між собою дротами або друкованими металевими з'єднаннями.
Електронні схеми складаються з відносно невеликої кількості стандартних типів компонентів. Але так само, як ви можете побудувати різноманітні споруди з відносно невеликої кількості матеріалів, ви можете створити нескінченну кількість схем, які слугуватимуть певній меті.
- Це подібно до того, як все, що існує, включаючи наші тіла, побудоване з 92 хімічних елементів, що зустрічаються в природі.

Резистори

Це найпростіші компоненти в будь-якій схемі. Їхнє завдання - обмежити потік електронів і зменшити струм або напругу, перетворюючи електричну енергію в теплову. Резистори бувають різних типів і виготовляються з різних матеріалів. Змінні резистори можуть мати змінне значення опору, тому вони змінюють величину опору, коли ви їх регулюєте. Наприклад, регулятори гучності в аудіоапаратурі часто використовують такі змінні резистори. Струм, що протікає через резистор, = напруга (В) / опір (Ω). Наприклад, $12\text{ В} / 4\Omega$ - 3 ампера (А).

Потужність можна знайти за формулою напруга X струм. У наведеному вище прикладі, $12\text{В} \times 3\text{А} = 36\text{Вт} = \text{ват}$. Це приблизно потужність паяльника.

Конденсатори

- Ці відносно прості компоненти складаються з двох частин провідного матеріалу (зазвичай металевого), розділених непровідним (ізоляційним) матеріалом, який називається діелектриком. Їх часто використовують як пристрої синхронізації, але вони можуть розділяти змінний і постійний електричні струми, а також сигнали різних частот і в інші способи. У радіоприймачі одну з найважливіших функцій - налаштування на станцію, яку ви хочете слухати - виконує конденсатор змінної ємності. Одиницею ємності є фарад, Ф. Оскільки фарад є надзвичайно великою одиницею, прикладом значення ємності може бути 3,3 мкФ або мікрофаради.

Діоди

- Електронні еквіваленти клапанів у гідродинаміці, діоди дозволяють електричному струму протікати через них лише в одному напрямку. Діоди можна використовувати для перетворення змінних струмів (які протікають по колу туди-сюди, постійно змінюючи напрямок) на постійні (які завжди протікають в одному напрямку). Чотири діоди утворюють базовий мостовий випрямляч.

Індуктори

- Котушки індуктивності використовують електромагнітні характеристики потоку струму. Базовий індуктор - це котушка з дроту, хоча індуктивність може бути збільшена за допомогою феритового осердя. Трансформатор - це індуктор з подвійною обмоткою. Одиницею індуктивності є генрі, Гн. Генрі є надзвичайно великою одиницею, тому типові значення можуть бути в мікрогенрі, мкГн.

Транзистори

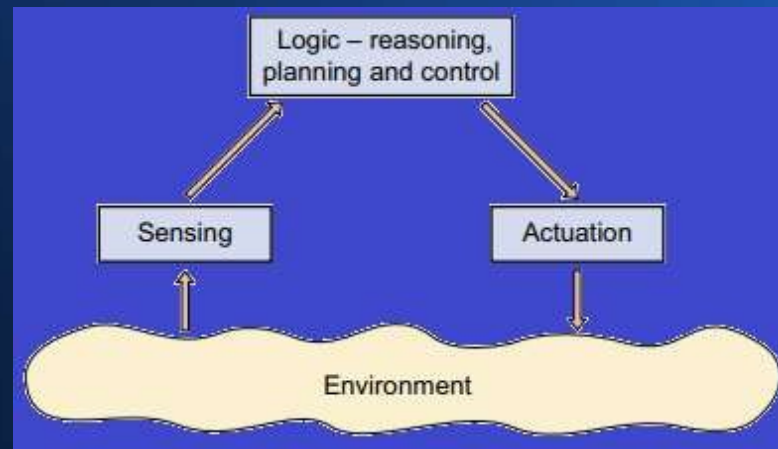
- Найвідоміші компоненти в електронних пристроях, транзистори можуть вмикати і вимикати крихітні електричні струми або посилювати їх. Транзистори, які працюють як перемикачі, діють на фундаментальному рівні як пам'ять у комп'ютерах, тоді як транзистори, що працюють як підсилювачі, збільшують гучність звуку в аудіопристроях. Коли транзистори з'єднані разом, вони утворюють пристрої, які називаються логічними вентилями (І, АБО, НЕ і т.д.), які можуть виконувати найпростіші форми прийняття рішень. (Тиристори трохи схожі на транзистори, але функціонують зовсім по-іншому).

Оптоелектронні (оптико-електронні) КОМПОНЕНТИ

- Існують різні компоненти, які можуть перетворювати світло на електрику або навпаки. Фотоелектричні елементи (також відомі як фотоелементи) генерують електричний струм, коли на них падає світло, і використовуються в різних типах сенсорного обладнання, включаючи деякі типи детекторів диму. Світлодіоди (LED) працюють у протилежному напрямку, перетворюючи невеликі електричні струми на світло, і зазвичай використовуються на приладових панелях аудіоапаратури. Рідкокристалічні дисплеї (РК-дисплеї), такі як ті, що використовуються в телевізорах з плоским екраном і портативних комп'ютерах, є більш складними прикладами оптоелектроніки.
- У великих масштабах фотоелектричні елементи перетворюють сонячну енергію в електричну. Я планую заснувати електронний бізнес на сонячних батареях у Західній Африці.
- І як ми зараз побачимо, цикл зондування/логіки/дії значною мірою залежить від датчиків, в тому числі оптоелектронних пристроїв.

Що таке цикл "відчуття-логіка-дія"?

- Електронні пристрої можуть відчувати навколишній світ, перетворюючи різноманітні фізичні явища в електричні сигнали, які передають корисну інформацію. Такі пристрої (так звані датчики) мають можливості, подібні до наших людських органів чуття: слух (мікрофони), зір (камери, в тому числі видимого та інфрачервоного світла, а також датчики наближення), дотик (п'єзоелектричні датчики), нюх та/або смак (хімічні датчики).



Сенсорика - простий приклад

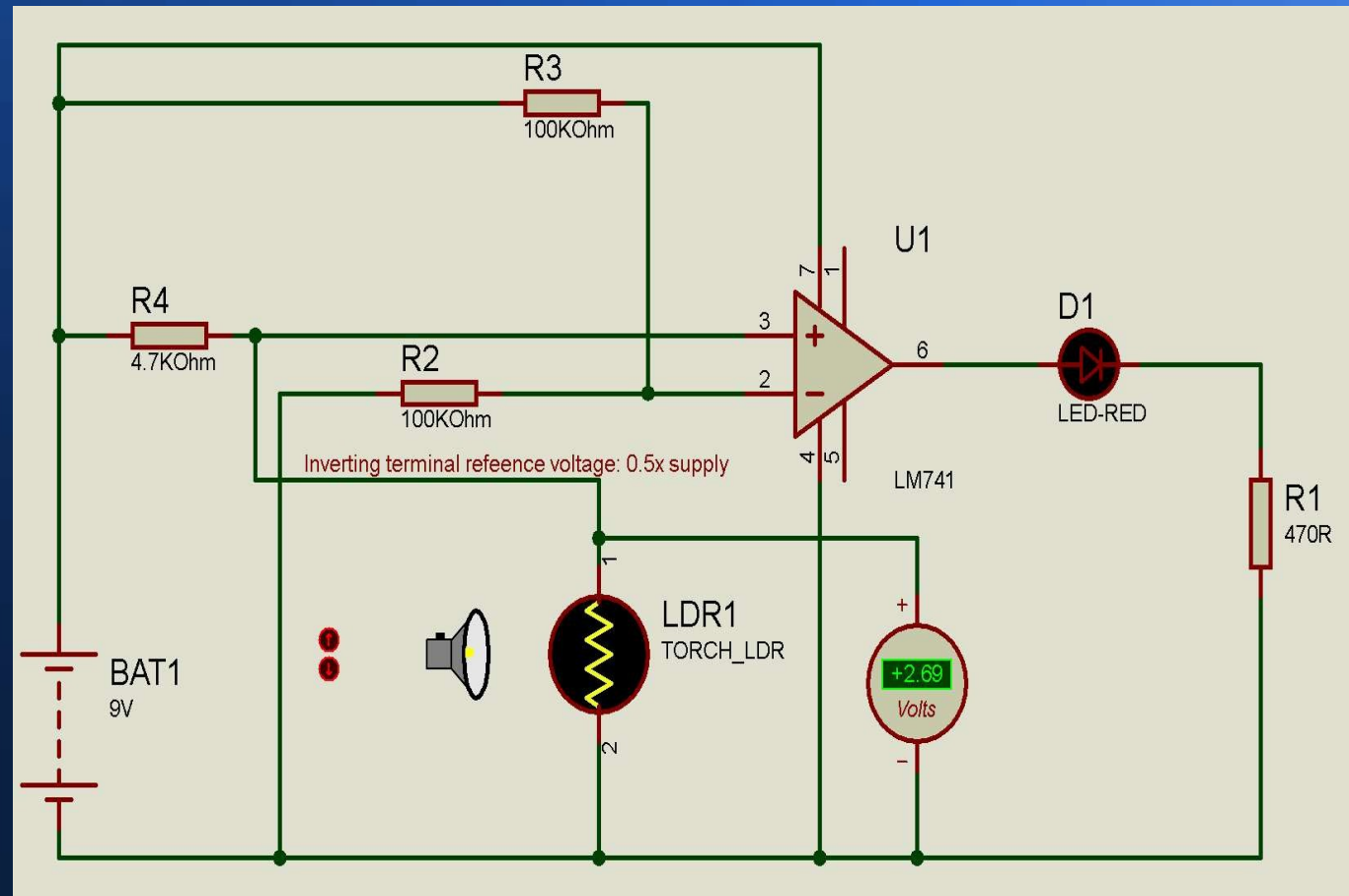
- Світлозалежний резистор, що використовується як датчик денного світла в симуляції Proteus. Оскільки датчик є віртуальним, ліхтар замінює реальне денне світло. UA741 сконфігуровано як компаратор у наступній схемі.

Це проста демонстрація того, як освітлення можна контролювати за допомогою світлозалежного резистора. LDR слугує детектором денного світла.

Ідея полягає в тому, що освітлення вмикається автоматично, коли освітленість падає нижче заданого рівня. Факел у цій демонстрації замінює денне світло в цій демонстраційній схемі. А операційний підсилювач UA741 тут використовується як компаратор. Опорна напруга дорівнює половині напруги живлення.

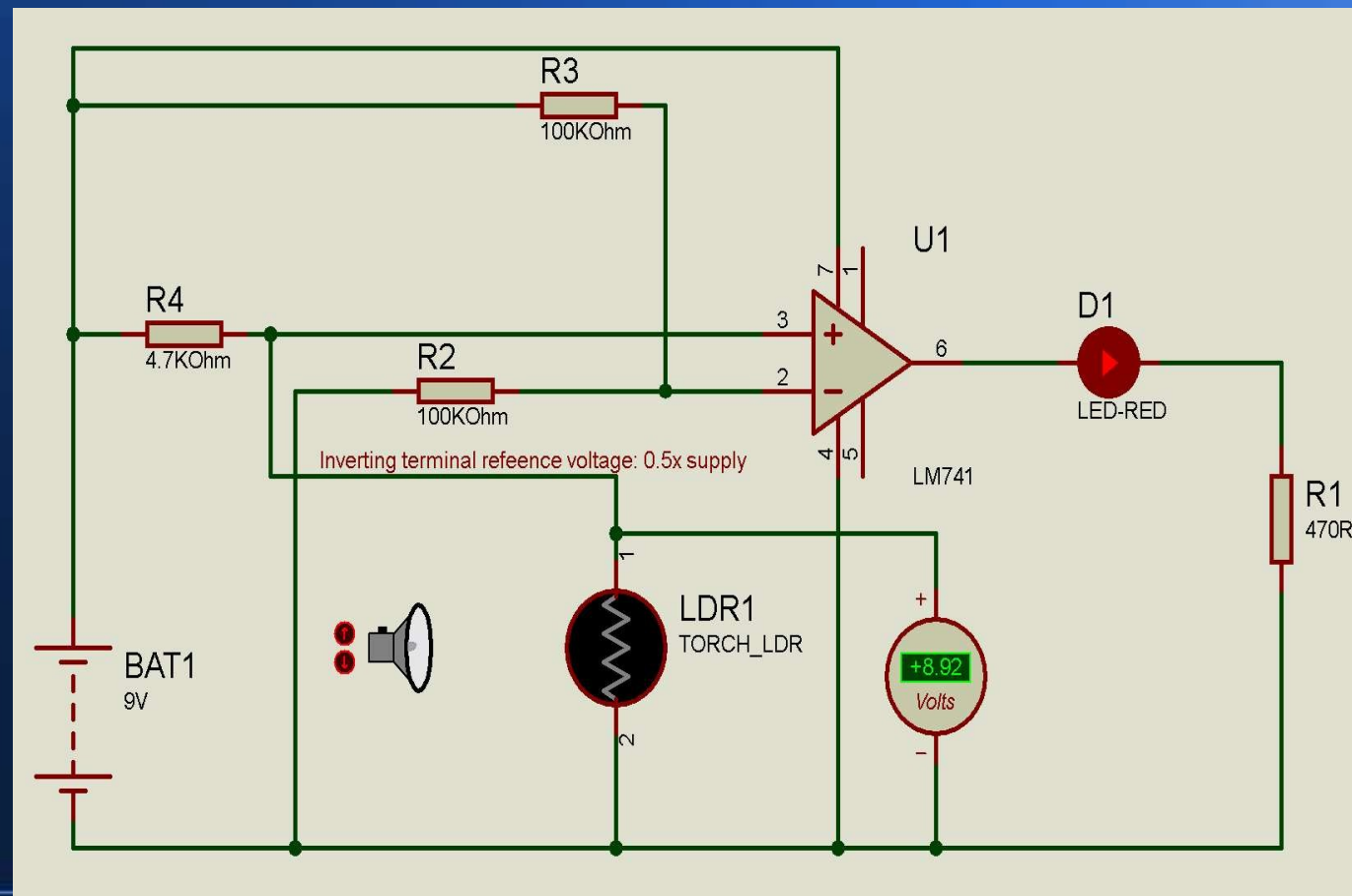
Сприйняття - Денний час (ліхтар вимкнено) - позначка D1 світлодіода вимкнена.

Як тільки
рівень
освітленості
знижує напругу
нижче
опорного
значення 4,5 В,
D1
вимикається.
Простий спосіб
автоматизуват



Сприйняття - Нічний час (ліхтар вимкнено) - позначка D1 світлодіода увімкнена.

8,92 В вище
за опорну
напругу.

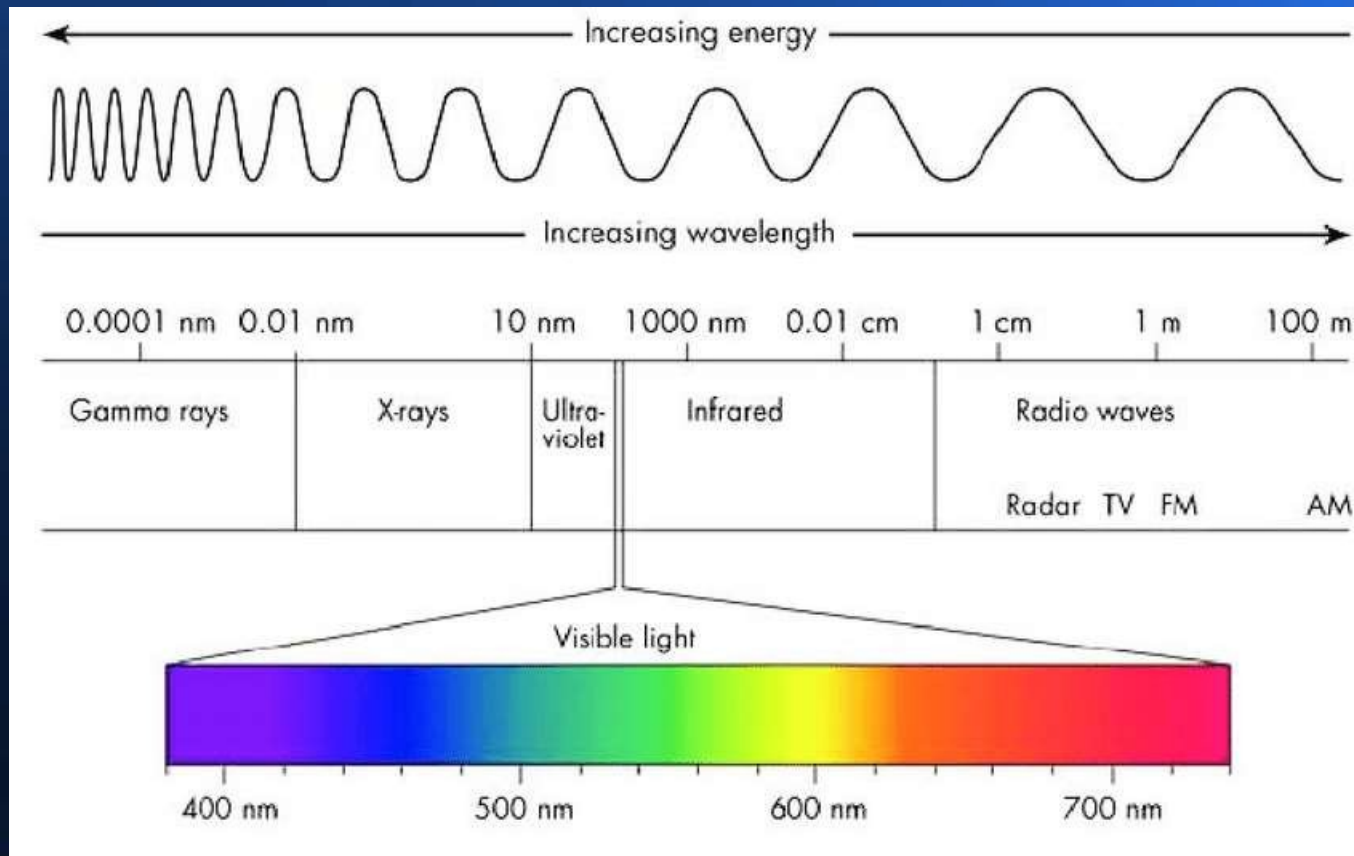


Відчуття за межами людських органів чуття

- Можна розробити електронні пристрої, які можуть відчувати речі, які ми не можемо відчути безпосередньо. Ось кілька прикладів:
- Ультразвук дозволяє нам "зазирнути" всередину нашого тіла;
- Зображення інфрачервоної камери дозволяють нам "бачити" картини випромінюваного тепла;
- терагерцові (мікрометричні) зображення дозволяють нам бачити крізь непрозорі матеріали
- Наші очі чутливі лише до крихітного "вікна" в електромагнітному спектрі....

Електромагнітний спектр

- Наші очі сприймають лише хвилі довжиною від 0,4 до 0,7 мм.



Логіка - що це таке?

- Іноді інформація з датчиків подається безпосередньо людині, щоб вона могла діяти, як у випадку з візуальним відображенням. Однак у багатьох випадках ця інформація використовується для автоматичного керування системами. Для цього потрібні логічні функції, які виконуються логічними схемами або програмованими мікропроцесорами чи мікроконтролерами.

Приведення в дію

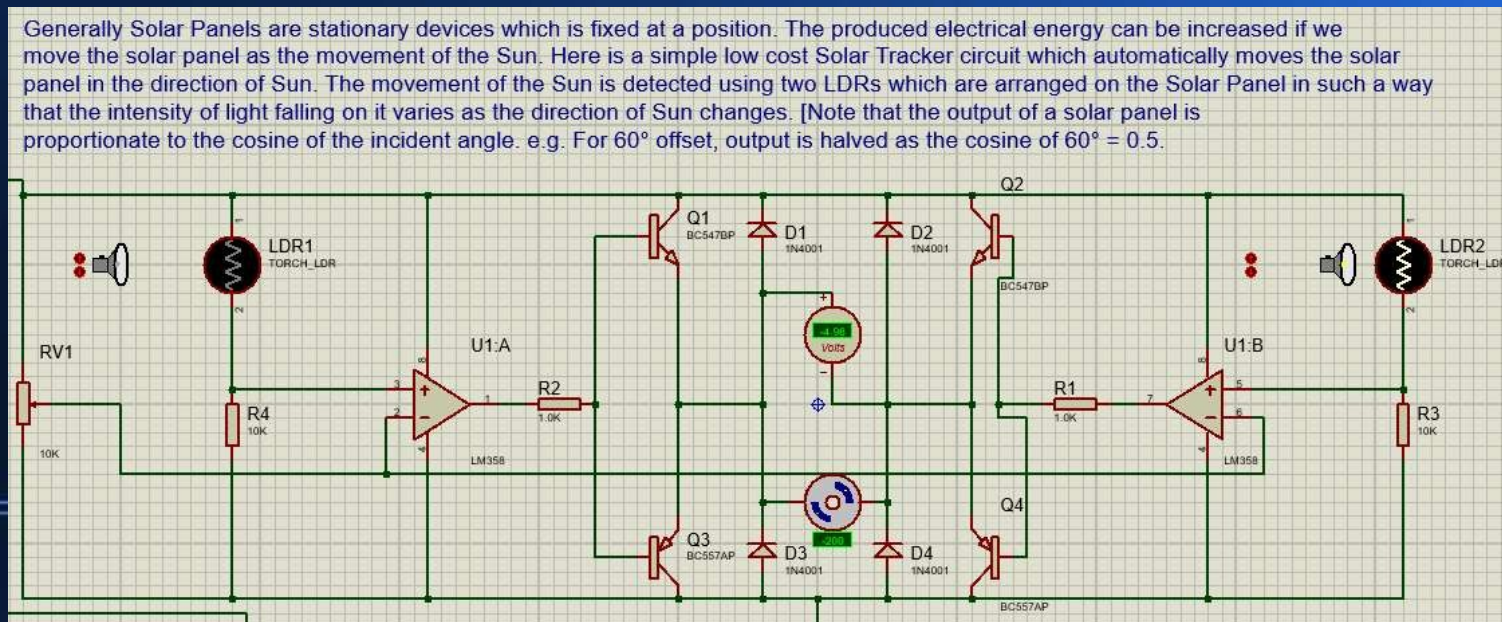
- Актуатори - це компоненти, які керують рухом в автономній системі. У багатьох системах приводи різних типів автоматично керуються, щоб забезпечити бажану поведінку. Прикладами є електродвигуни (в тому числі крокові) та пневматичні приводи.
- Робототехніка можлива завдяки розумному використанню приводів!

Приведення в дію

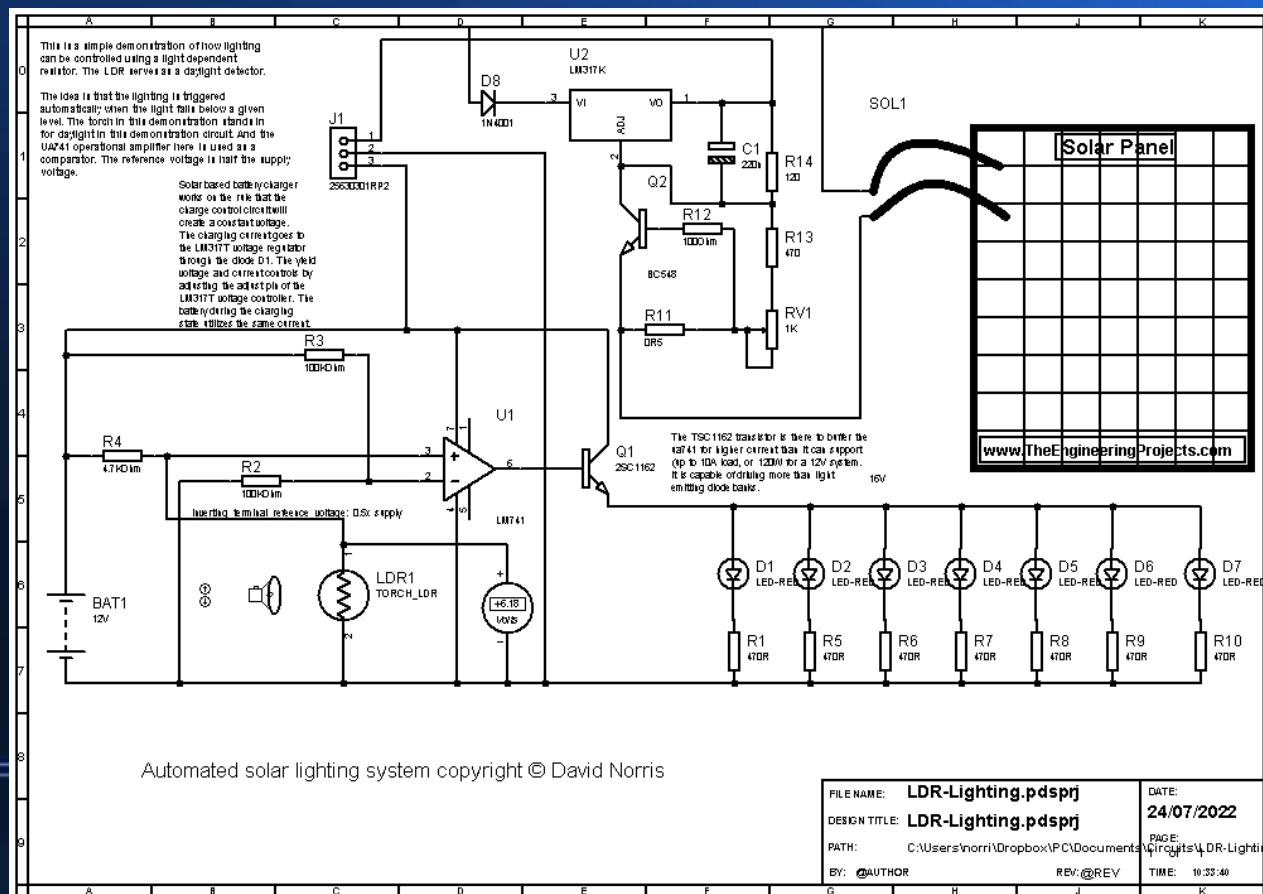
- Актуатори - це компоненти, які керують рухом в автономній системі. У багатьох системах приводи різних типів автоматично керуються, щоб забезпечити бажану поведінку. Прикладами є електродвигуни (в тому числі крокові) та пневматичні приводи.
- Робототехніка можлива завдяки розумному використанню приводів!

Простий аналоговий метод управління - дуельний контур зворотного зв'язку

- Це простий приклад контуру керування з аналоговим зворотним зв'язком. Тут немає цифрових елементів керування. Тут спрацьовування відбувається через два операційні підсилювачі, які налаштовані як компаратори - якщо один LDR виявляє рудне світло більше, ніж інший, він видає більшу напругу, ніж інший, і обертає двигун доти, доки LDR не отримають однакову інтенсивність світла. Просто, але ефективно.



Повністю автоматизована система освітлення на сонячних батареях. Для вимірювання використовуються світлозалежні резистори, операційний підсилювач є компаратором у цьому застосуванні. Авторське право © Девід Норріс, 2022



Взаємозв'язок між напругою, струмом, опором та потужністю

- Для ланцюга постійного струму взаємозв'язок простий...
- Потужність (Вт) = напруга (В) x струм (в амперах, символ I)
- Опір (Вт) = V/I
- Отже, потужність - це добуток напруги на струм, а струм пропорційний напрузі в більшості матеріалів, які називаються "омічними".
- Однак зверніть увагу, що деякі матеріали не мають омічного зв'язку - (див. діоди і транзистори пізніше!) Про них говорять, що вони не мають омічного зв'язку.
- А для ланцюгів змінного струму, будь ласка, зверніть увагу, що вони більш задіяні! Про опір і ємність ми поговоримо пізніше.

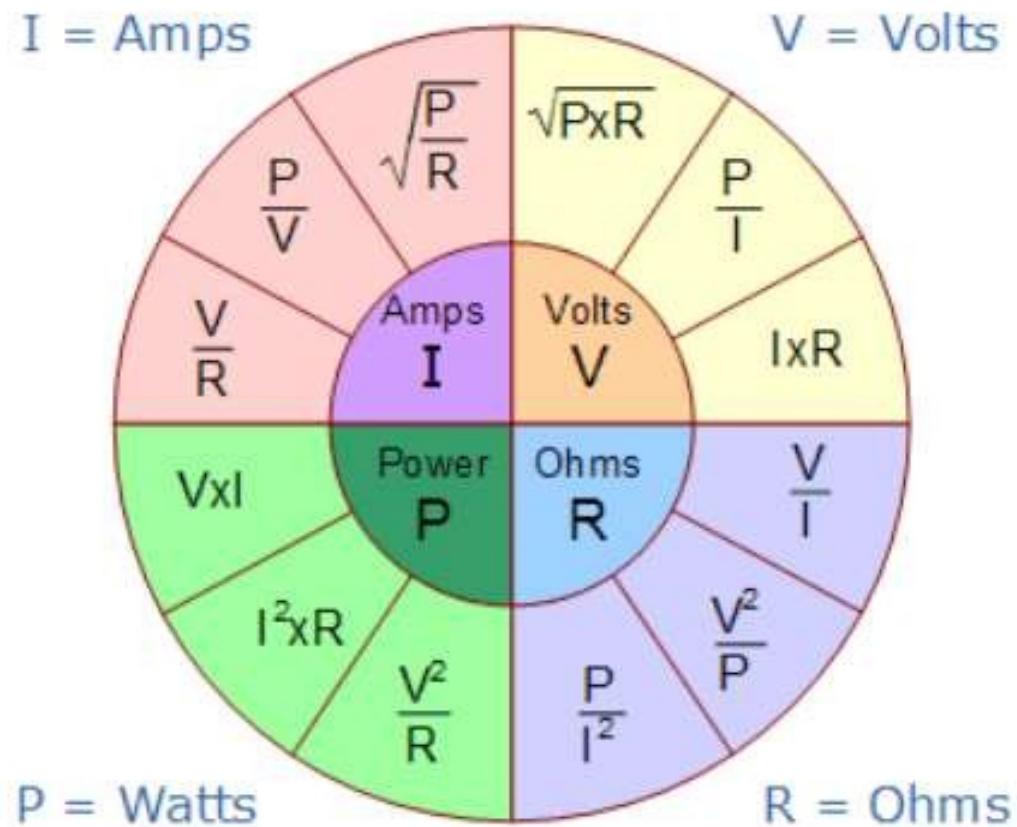
Префікси - для великих і малих партій

- Існують також більші та менші префікси!
- Але для початку цього буде достатньо.
- Це все одиниці СІ.

Prefix	Symbol	Multiple of standard unit		Example
micro	μ	one millionth	10^{-6}	microamp, μA
milli	m	one thousandth	10^{-3}	millivolt, mV
kilo	k	one thousand	10^3	kilo-ohm, $\text{k}\Omega$
mega	M	one million	10^6	megawatt, MW

Простий спосіб згадати закон Ома...

Ohms Law Pie Chart



Деякі основні компоненти

- Функції найпростіших електронних компонентів
- Клеми та з'єднувачі: Компоненти для електричного з'єднання.
- Резистори: Компоненти, що використовуються для опору струму.
- Вимикачі: Компоненти, які можуть бути як провідними (закриті), так і непровідними (відкриті).
- Конденсатори: Компоненти, які зберігають електричний заряд в електричному полі.
- Магнітні або індуктивні компоненти: Це електричні компоненти, які використовують магнетизм, такі як котушки індуктивності...
- Мережеві компоненти: Компоненти, які використовують більше 1 типу пасивних компонентів.
- П'єзоелектричні пристрої, кристали, резонатори: Пасивні компоненти, що використовують п'єзоелектричний ефект.
- Напівпровідники: Електронні елементи керування без рухомих частин.
- Діоди: Компоненти, які проводять електрику лише в одному напрямку.
- Транзистори: Напівпровідниковий пристрій, здатний до підсилення.
- Інтегральні схеми або мікросхеми: Мікроелектронна комп'ютерна схема, вбудована в мікросхему або напівпровідник; ціла система, а не окремий компонент.

Вступ до електричних кіл

- Одиниці виміру - більш повний список

Quantity	Quantity Symbol	Unit	Unit Symbol	Quantity	Quantity Symbol	Unit	Unit Symbol
Length	l	metre	m	Resistance	R	ohm	Ω
Mass	m	kilogram	kg	Conductance	G	siemen	S
Time	t	second	s	Electromotive force	E	volt	V
Velocity	v	metres per second	m/s or m s^{-1}	Potential difference	V	volt	V
Acceleration	a	metres per second squared	m/s^2 or m s^{-2}	Work	W	joule	J
Force	F	newton	N	Energy	E (or W)	joule	J
Electrical charge or quantity	Q	coulomb	C	Power	P	watt	W
Electric current	I	ampere	A	These are the units we need in our discussion of electrical machines. Please use these symbols to prevent confusion.			
				All of these are S.I units.			

Електричні харатеристики

- Електричні характеристики часто мають фізичні еквіваленти в машинному світі...

Презур'є.	Г/м ²	Електричний тиск	Напруга (В)
Течія	Літри/секунду	Електричний струм	Ампер (I)
Тертя	Ньютони	Опір	Ом (Вт)
Ємність	Літри	Заряджай.	Кулони (С)
-	-	Сила	Вати (Вт)
Теплопровідність	ВТ/М ² .К	Провідність	Siemens (s)
-	-	Індуктивність	Хендріс (Л)



Закон Ома - детальніше

- Закон Ома
- Закон Ома стверджує, що струм I протікає в ланцюзі:
- прямо пропорційна прикладеній напрузі V , а
- обернено пропорційна до опору R , за умови, що
- температура залишається постійною. Таким чином,
- $I = V/R$ або $V = IR$ або $R = V/I$
- Це аналогічно потоку води у водопровідній трубі. Потік струму пропорційний тиску і обернено пропорційний силі тертя.
- Провідність - це величина, обернена до опору. Вона вимірюється в См (S) як $1/R$.

Приклад розрахунку

- Світлодіод, що випромінює світло, потребує струмообмежувального резистора, щоб гарантувати, що через нього протікає не більше 20 мА (інакше він згорить). А напруга живлення 9В від батарейки РРЗ. Яке найменше значення резистора ми можемо використати? (Зверніть увагу, що стабілітрон не має омичного опору, він вносить падіння напруги в ланцюг. Це приклад безомичного пристрою. Без обмежувального резистора потік струму був би таким: $9V / 0\Omega = \infty!$ На практиці це максимальний струм, який може видати батарея. Це призведе до перегорання літій-іонного акумулятора).
- Посилаючись на закон Ома, $R = V/I = 9 \times 0,002 = 4500 \Omega$ або 4,5 кВт. Оскільки 4,5 кВт не є найкращим значенням, на практиці я б використовував резистор 4,7 кВт або 4к7.
- Але як визначити номінал резистора?

Колірний код резистора

- Наш резистор 4k7 матиме смуги: жовту, фіолетову, коричневу (допуск тут не надто критичний).

Color	Value	Multiplier	Tolerance
Black	0	$\times 10^0$	$\pm 20\%$
Brown	1	$\times 10^1$	$\pm 1\%$
Red	2	$\times 10^2$	$\pm 2\%$
Orange	3	$\times 10^3$	$\pm 3\%$
Yellow	4	$\times 10^4$	- 0, + 100%
Green	5	$\times 10^5$	$\pm 0.5\%$
Blue	6	$\times 10^6$	$\pm 0.25\%$
Violet	7	$\times 10^7$	$\pm 0.10\%$
Gray	8	$\times 10^8$	$\pm 0.05\%$
White	9	$\times 10^9$	$\pm 10\%$
Gold	-	$\times 10^{-1}$	$\pm 5\%$
Silver	-	$\times 10^{-2}$	$\pm 10\%$

4-band resistor



270 ohms $\pm 5\%$

5-band resistor



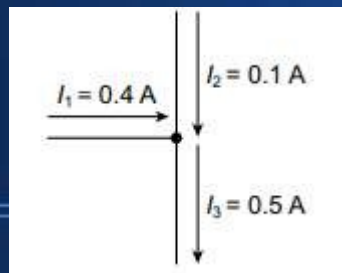
100k ohms $\pm 1\%$

Вправа на закон Ома

- Елемент електрочайника споживає струм 10 А від мережі 230 В. Знайдіть: опір елемента та номінальну потужність чайника?
- $R(\Omega) = V/I = 230/10 = 23\Omega$
- Потужність (Вт) = $VI = 230 \text{ В} \times 10 \text{ А} = 2300 \text{ Вт}$ або 2,3 кВт.

Перший закон Кірхгофа (чинний закон)

- У будь-якому з'єднанні, або вузлі, в ланцюзі сума струмів, що вливаються у вузол, дорівнює сумі струмів, що витікають з нього. Це те саме, що сказати, що заряд не може ні накопичуватися в цих вузлах, ні віддаватися з них. Це правило корисно запам'ятати - воно допомагає розрізняти місця, де енергія може зберігатися (катушки індуктивності і конденсатори, про які ми поговоримо пізніше), і місця, де вона не може зберігатися (наприклад, роз'єми, резистори і перетворювачі).



Закони Кірхгофа | KCL та KVL

- Закон напруги Кірхгофа (KVL)
- Другий закон також називається законом напруги Кірхгофа (KVL). Він стверджує, що сума наростання і спаду напруги на всіх елементах замкненого кола дорівнює нулю. У вигляді формули:
- $\sum_{i=1}^n V_i = 0$

Закон напруги Кірхова:

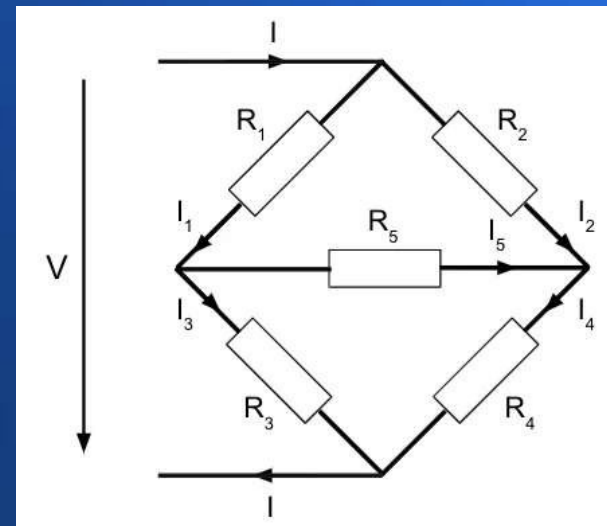
$$\sum_k V_k = 0 \quad \text{where } k = 1, 2, 3, 4, \dots$$
$$V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + \dots = 0$$

Чинне законодавство Кірчова:

$$\sum_k i_k = 0 \quad \text{where } k = 1, 2, 3, 4, \dots$$
$$i_1 + i_2 + i_3 + i_4 + \dots = 0$$

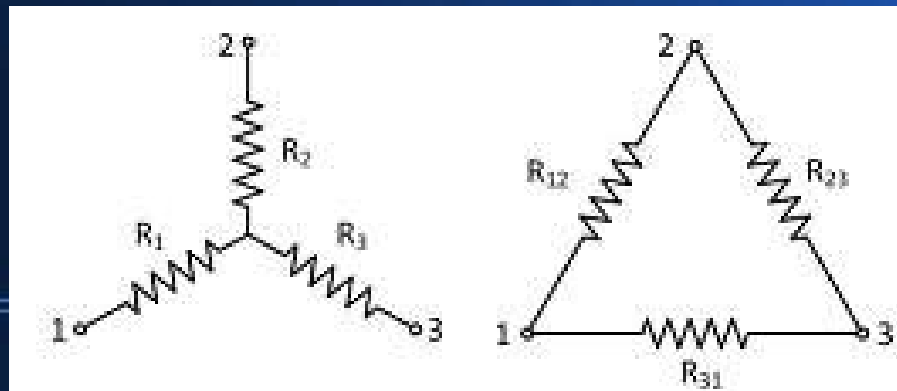
Приклад закону Кірхова: міст Вітстоун

- Мостові схеми є дуже поширеним інструментом в електроніці. Вони використовуються у вимірювальних приладах, перетворювачах і комутаційних схемах. У мене було завдання, пов'язане з такою схемою, коли я був студентом. У цьому прикладі ми покажемо, як використовувати закони Кірхгофа для визначення струму I_5 . Схема має чотири мостові секції з резисторами $R_1 - R_4$. Є одне перехресне мостове з'єднання з резистором R_5 . На міст подається постійна напруга V і струм I .
- Перший закон Кірхгофа (ЗКК) стверджує, що сума всіх струмів в одному вузлі дорівнює нулю. Отже, сумарний вхідний струм повинен дорівнювати сумарному вихідному струму - електрони та енергія не можуть бути зроблені або знищені.



Приклад закону Кірхгофа: перетворення зірка-дельта (або Y-D)

- Закони Кірхгофа можна використовувати для перетворення з'єднання зірки (також відомого як Y) в трикутник. Наприклад, таке з'єднання часто зустрічається в трифазних системах змінного струму (наприклад, в електромережах 400/230 В в Європейському Союзі). Широко використовується з'єднання зірка-трикутник, крім трифазних трансформаторів, для обмеження пускового струму електродвигунів. Високий пусковий струм викликає високі падіння напруги в енергосистемі. Як рішення, обмотки двигуна під час запуску з'єднуються в конфігурацію зірки, а потім змінюються на з'єднання трикутником.



Ємність

- Ємність - це відношення кількості електричного заряду, що зберігається на провіднику, до різниці електричних потенціалів.
- Зазвичай для розділення електричного заряду використовують два провідники, один з яких позитивно заряджений, а інший - негативно, але загальний заряд системи дорівнює нулю. Співвідношення в цьому випадку - це величина електричного заряду на кожному з провідників і різниця потенціалів, виміряна між двома провідниками.
- Ємність залежить тільки від геометрії конструкції (площі пластин і відстані між ними) і діелектричної проникності діелектрика між пластинами конденсатора. Для багатьох діелектричних матеріалів діелектрична проникність, а отже, і ємність, не залежить від різниці потенціалів між провідниками і загального заряду на них.
- Одиницею ємності є фарад (F). Конденсатор ємністю 1 фарад, заряджений 1 кулоном електричного заряду, має різницю потенціалів між обкладками в 1 вольт. Величина, обернена до ємності, називається пружністю. Формула для розрахунку ємнісного реактивного опору має вигляд: $X_c = 1 / (2\pi f C)$, де f - в герцах, C - в фарадах.
- На практиці фарад є дуже великою одиницею, тому більшість значень виражається в

Приклад ємнісної реакції

$$X_c = \frac{1}{(2\pi FC)}$$

- Знайти реактивний опір ємності 1 мкФ при частоті мережі 50 Гц.
- $X_c = 1/(2\pi FC) = 1/(2\pi(50)(0.000001)) = 3.183\text{кВТ}$
- У джерелі постійного струму конденсатор просто заряджається до напруги живлення і далі струм не протікає. Для змінного струму полярність постійно змінюється, тому конденсатор ніколи не наздоганяє напругу - дозволяючи "витікати" струму!




Приклад індуктивної реакції

$$X_L = 2\pi FL$$

- Наприклад, візьмемо котушку індуктивності 10000 мГн при частоті мережі 50 Гц:
- $X_L = 2\pi FL = 2\pi(50)(0.0001) = 3.14\Omega$
- Пам'ятайте, що 10000мГн = 10мГн!
- Коли постійний струм подається на котушку індуктивності, з'являється короткий стрибок високої напруги (відомий як зворотна ЕРС), а потім постійний струм, що протікає, не викликає подальшої напруги в котушці індуктивності. Для змінного струму струм постійно змінюється! Отже, індукується зворотна напруга, яка намагається протидіяти потоку струму.

Резистори, конденсатори та котушки індуктивності послідовні та паралельні

- Запам'ятай!

	RESISTOR	CAPACITOR	INDUCTOR
Elements Symbol			
Denoted by	R	C	L
Equation	$R = \frac{V}{I}$	$C = \frac{Q}{V}$	$L = \frac{V_L}{(di/dt)}$
Series	$R_T = R_1 + R_2$	$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$	$L_T = L_1 + L_2$
Parallel	$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$	$C_T = C_1 + C_2$	$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$

Електричний опір - короткий вступ

- Питомий електричний опір - це міра властивості матеріалу чинити опір проходженню електричного струму. Виражається в Ом-метрах ($\Omega \cdot m$). Символом питомого опору зазвичай є грецька літера ρ (rho). Високий питомий опір означає, що матеріал не проводить електричний заряд добре. Низький питомий опір означає хороший провідник!
- Електричний опір визначається як відношення між електричним полем всередині матеріалу i , як наслідок, електричним струмом, що проходить через нього:
- $\rho = E/J$ де:
- де ρ - питомий опір матеріалу ($\text{Ом} \cdot \text{м}$),
- E - напруженість електричного поля в матеріалі (В/м),
- J - величина густини електричного струму в матеріалі (А/м^2)
- Якщо електричне поле (E) через матеріал дуже велике, а потік струму (J) дуже малий, це означає, що матеріал має високий питомий опір.
- Наприклад, мідний дріт має менший питомий опір, ніж ніхромовий дріт (використовується для виготовлення нагрівальних елементів).

Опір дроту

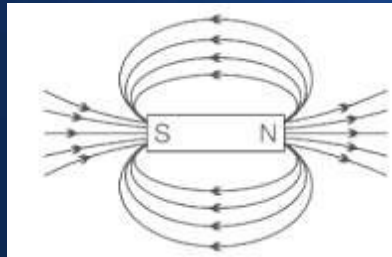
- Який фактичний опір шматка дроту? Значення опору дроту залежить від усіх трьох параметрів: питомого опору, довжини та діаметра. Формула для розрахунку опору дроту виглядає наступним чином:
- $R = \rho (l / A)$
- де R - це опір в (Ω),
- ρ - питомий опір матеріалу ($\text{Ом}\cdot\text{м}$),
- l - довжина матеріалу (м),
- A - площа поперечного перерізу матеріалу (м^2).
- Звідси випливає, що довгий тонкий дріт має набагато більший опір, ніж коротка довжина товстого кабелю з того ж матеріалу.
- На практиці продуктивність і економічні міркування визначають тип кабелю, який використовується в конкретному застосуванні.

Приклади питомого опору

Material	ρ ($\Omega \cdot m$) at 20°C	σ (S/m) at 20°C	Temperature coefficient (1/°C) $\times 10^{-3}$
Silver	1.59×10^{-8}	6.30×10^7	3.8
Copper	1.68×10^{-8}	5.96×10^7	3.9
Gold	2.44×10^{-8}	4.10×10^7	3.4
Aluminum	2.82×10^{-8}	3.5×10^7	3.9
Tungsten	5.60×10^{-8}	1.79×10^7	4.5
Zinc	5.90×10^{-8}	1.69×10^7	3.7
Nickel	6.99×10^{-8}	1.43×10^7	6
Lithium	9.28×10^{-8}	1.08×10^7	6
Iron	1.0×10^{-7}	1.00×10^7	5
Platinum	1.06×10^{-7}	9.43×10^6	3.9
Tin	1.09×10^{-7}	9.17×10^6	4.5
Lead	2.2×10^{-7}	4.55×10^6	3.9
Manganin	4.82×10^{-7}	2.07×10^6	0.002
Constantan	4.9×10^{-7}	2.04×10^6	0.008
Mercury	9.8×10^{-7}	1.02×10^6	0.9
Nichrome	1.10×10^{-6}	9.09×10^5	0.4
Carbon (amorphous)	5×10^{-4} to 8×10^{-4}	1.25 to 2×10^3	-0.5

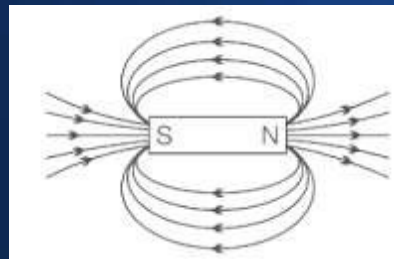
Електромагнетизм

- Магніт - це матеріал або предмет, який створює магнітне поле. Хоча магнітне поле абсолютно невидиме, воно створює силу, яка притягує інші феромагнітні матеріали, такі як залізо, сталь, нікель і кобальт. Воно також може притягувати або відштовхувати інші магніти (як полюси відштовхуються, на відміну від полюсів, що притягуються). Хоча магніт притягує ці приклади магнітних матеріалів, немагнітні матеріали, такі як гума, монети, пір'я та шкіра, не притягуються. Це діаграма поля навколо простого стрижневого магніту:



Електромагнетизм

- Магніт - це матеріал або предмет, який створює магнітне поле. Хоча магнітне поле абсолютно невидиме, воно створює силу, яка притягує інші феромагнітні матеріали, такі як залізо, сталь, нікель і кобальт. Воно також може притягувати або відштовхувати інші магніти (як полюси відштовхуються, на відміну від полюсів, що притягуються). Хоча магніт притягує ці приклади магнітних матеріалів, немагнітні матеріали, такі як гума, монети, пір'я та шкіра, не притягуються. Це діаграма поля навколо простого стрижневого магніту:



Електромагнетизм

- Електричний струм зазвичай складається з величезної кількості електричних зарядів, які рухаються в скоординованому загальному русі. Однак, якщо ви не бачите, як дріт нагрівається і починає світитися, ззовні нелегко визначити, чи йде по ньому струм, чи ні.
- Це відбувається тому, що провідник залишається електрично нейтральним, поки по ньому рухаються електрони. Будь-який надлишок електронів, що входить в ділянку дроту на одному кінці, одночасно компенсується електронами, що залишають цю ділянку на іншому кінці. Пам'ятайте, що провідник містить стільки ж позитивних зарядів в ядрах своїх атомів, скільки в ньому електронів.
- Електромагнетизм - це найкращий спосіб виявити та кількісно визначити, скільки ампер струму проходить через ланцюг. Він створюється рухом негативно заряджених електронів, які складають струм, тоді як позитивно заряджені ядра не мають магнітного ефекту, оскільки вони не рухаються! Отже, хоча електричні впливи електронів і ядер взаємно погашаються, якщо дивитися ззовні, їхні магнітні ефекти не зникають.

Електромагнетизм

- Як взагалі створюються електромагнітні поля і що визначає їхню силу?
- Електромагніт використовує електричний струм для створення тих самих магнітних сил, про які ми щойно говорили. Ми використовуємо електромагніти для всього: від крана на звалищі, який піднімає утилізовані автомобілі, до керування променем прискорювача елементарних частинок. Але якщо уважно придивитися до електромагніту, то це не що інше, як котушка з дроту, подібно до котушок, про які ми щойно згадували в двигунах і лічильниках.
- Як ми можемо використовувати один і той самий пристрій (котушку) для двох різних цілей: створення сили струму, як у двигуні, і перетворення струму на магнітне поле?
- Згадайте третій закон Ньютона: кожна дія створює рівну і протилежну реакцію. У двигуні магніт створює силу на котушку зі струмом через магнітне поле. За третім законом Ньютона, котушка зі струмом повинна одночасно чинити силу на магніт. Саме магнітне поле, створене котушкою, і перетворює котушку на електромагніт.

Електромагнетизм і закон Ампера

- Щоб кількісно оцінити напруженість і напрямок магнітного поля, створюваного струмом, найкраще почати з найпростішого випадку прямого дроту.
- У всіх випадках магнітне поле пропорційне струму. Але на поведінку магнітного поля в залежності від вашого положення відносно проводів дуже сильно впливає геометрія проводів.
- Найпростіша поведінка спостерігається для прямого дроту: магнітне поле в цьому випадку зменшується обернено пропорційно відстані, виміряній перпендикулярно до дроту.
- Закон Ампера - це відкриття Андре-Марі Ампера, який є прикладом третього закону Ньютона в дії, оскільки він ставить "джерело" і "приймач" магнітної сили в рівні умови - вони повинні бути рівними (оскільки дія і реакція рівні!).

Електромагнетизм - час для цифр!

- Тесла дорівнює ньютону на метр і ампер. Це можна проілюструвати на конкретному прикладі: Це точно відповідає щільності потоку в 1 тесла, який чинить на електричний провідник довжиною 1 метр, який, у свою чергу, проводить струм силою в 1 ампер, рівно 1 ньютон притягання.
- Одиниця виміру магнетизму - тесла (Т): Тесла була названа на честь інженера і винахідника Ніколи Тесли. Визначення густини магнітного потоку не відповідає безпосередньо визначенню густини магнітного поля. Однак, в кінцевому рахунку, вона може бути визначена у двох величинах (одиницях) Гаусс і Тесла. Для переведення одиниці Тесла застосовується наступне співвідношення:
 - $1 \text{ Тесла} = 10\,000 \text{ Гаусс}$
 - $1 \text{ Т} = 1000 \text{ мТ}$
 - $1 \text{ кг (зовні)} = 0,1 \text{ т}$

Основи одиниці Тесла та розрахунки

- Визначення густини магнітного потоку не відповідає визначенню магнітного поля. Однак, в кінцевому рахунку, її можна визначити у двох величинах (одиницях) Гаусс і Тесла. Для перерахунку одиниці Тесла застосовується наступне співвідношення:
- $1 \text{ Тесла} = 10\,000 \text{ Гаусс}$
- $1 \text{ Т} = 1000 \text{ мТ (есла)}$
- $1 \text{ кг (ззовні)} = 0,1 \text{ т (есла)}$
- У фізиці густина магнітного потоку скорочено позначається літерою В. Магніт - це феромагнітний намагнічений матеріал. Сила магніту описується реланенсом. Таким чином, одиницями виміру реланентності постійного магніту є також одиниці Гаусса і Тесла.

Одиниця Тесла та її розрахунок:

- Густина магнітного потоку можна, нарешті, обчислити з сили рухомих зарядів. Застосовується наступна залежність:
- $1/\text{Т} = 1(\text{N}/\text{Am})$.
- Тесла дорівнює ньютону на метр і ампер. Це можна проілюструвати на конкретному прикладі: Це точно відповідає щільності потоку в 1 тесла, який чинить на електричний провідник довжиною 1 метр, який, у свою чергу, проводить струм силою 1 ампер, рівно 1 ньютон притягання. Необхідне магнітне поле створюється потоком струму в провіднику або рухомими електронами.

Основи одиниці Тесла та розрахунки

- За густиною магнітного потоку B можна визначити напруженість магнітного поля H . Густину магнітного потоку потрібно розділити на проникність вакууму μ_0 і матеріалу μ - наприклад, матеріалу осердя котушки (зазвичай заліза в трансформаторі):
- $H = 1/(\mu * \mu_0) B$

Основи одиниці Тесла та розрахунки

- Визначення
- Частинка, що несе заряд в один кулон і рухається перпендикулярно через магнітне поле напруженістю в один тесла зі швидкістю один метр за секунду, відчуває силу в один ньютон, відповідно до закону Лоренца. Тесла, як і будь-яка інша одиниця СІ, може бути виражена як:

$$T = \frac{V \cdot s}{m^2} = \frac{N}{A \cdot m} = \frac{J}{A \cdot m^2} = \frac{H \cdot A}{m^2} = \frac{Wb}{m^2} = \frac{kg}{C \cdot s} = \frac{N \cdot s}{C \cdot m} = \frac{kg}{A \cdot s^2}$$

Теплофізичні характеристики матеріалів: хімічний та механічний дизайн

- Багато машин з електричним приводом призначені для передачі тепла (та/або запобігання теплопередачі), і це змушує замислитися над тепловим дизайном. Крім того, відпрацьоване тепло може накопичуватися в будь-якій машині - оскільки жодна форма перетворення енергії не є на 100% ефективною, частина енергії втрачається у вигляді тепла. Двигуни, трансформатори і навіть електронні компоненти виділяють тепло, тому тепловий дизайн стає важливим фактором. Наприклад, комп'ютеру потрібен вентилятор, а деяким електронним компонентам - зокрема, силовим транзисторам - може знадобитися радіатор, щоб уникнути надмірного нагрівання.
- Існує 3 закони термодинаміки.
- 1-й закон термодинаміки - енергія не може бути створена або знищена, але може бути перетворена з однієї форми в іншу;
- 2-й закон термодинаміки - при спонтанному процесі ентропія Всесвіту зростає.
- 3-й закон термодинаміки - досконалий кристал при нулі Кельвіна має нульову ентропію.

Механізми передачі тепла

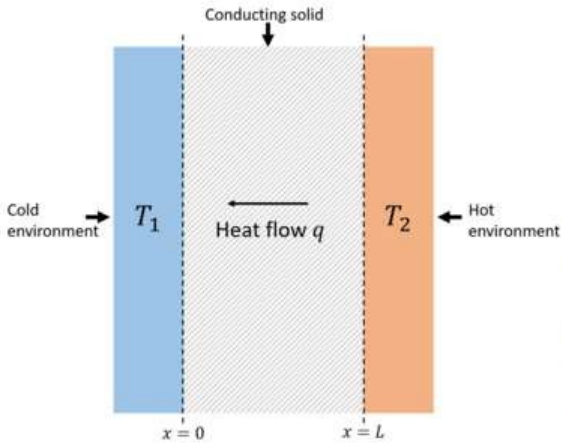
- Загалом існує чотири механізми теплопередачі. Механізми теплопередачі є наступними:
- Провідність: Це передача тепла (зазвичай через тверде тіло; рідини та гази, що перебувають у пастці, проводять погано). Наприклад, тепло, що генерується всередині корпусу, передається на зовнішню поверхню за допомогою теплопровідності.
- Конвекція - це передача тепла від поверхні за допомогою флюїду (рідини або газу). Конвекція виникає при нагріванні рідин або газів: вони розширюються, піднімаються і замінюються більш холодною рідиною. Кількість конвекції може бути збільшена за допомогою вентилятора для збільшення потоку.
- Випромінювання: Це процес, коли енергія випромінюється за допомогою електромагнітного випромінювання, коли об'єкт має температуру $>$ абсолютного нуля ($- 273,16^{\circ}\text{C}$ або 0°K). Хоча цей метод ефективний для джерел високої температури, таких як сонце, він менш ефективний для невеликих температурних перепадів.
- Випарне охолодження: Приховане тепло рідини можна використовувати для передачі тепла, поглинаючи енергію, необхідну для випаровування цієї рідини. Поглинуте тепло вивільняється, дозволяючи рідині конденсуватися за межами корпусу - саме так працює ваш холодильник.

Запобігання тепловіддачі

- У деяких ситуаціях передача тепла є небажаною. Як показано на попередньому слайді, тепло передається різними способами. Це має як переваги, так і недоліки. Теплопередачу можна контролювати і запобігати їй за допомогою ізоляції, щоб звести до мінімуму передачу тепла в навколишнє середовище. Мета ізоляції - запобігти передачі тепла від більш високої температури до більш низької, і тому при проектуванні ізоляції необхідно враховувати всі способи передачі тепла. Найважливішою властивістю ізоляції є погана теплопровідність, - матеріал з поганою теплопровідністю діє як хороший теплоізолятор.
- Оскільки передача тепла може відбуватися різними способами і одночасно в одному і тому ж об'єкті або приміщенні, необхідний певний досвід, щоб переконатися, що ізоляція виконана правильно!

Теплопровідність на практиці...

- Хороший ізолятор буде мати погану теплопровідність...



The diagram shows a central grey hatched rectangular block labeled "Conducting solid". To its left is a blue vertical bar representing a "Cold environment" at temperature T_1 . To its right is an orange vertical bar representing a "Hot environment" at temperature T_2 . A horizontal arrow labeled "Heat flow q " points from the hot environment towards the cold environment. The left boundary of the solid is at $x = 0$ and the right boundary is at $x = L$.

$$q = -k \cdot \frac{T_2 - T_1}{L}$$

q = thermal conductivity

$T_2 - T_1$ is the temperature differential

L is the thickness of the conductor.

A is the surface area.

Thermal conductance is defined as kA/L and is measured in watts per degree Kelvin.

Thermal resistance is the inverse of thermal conductance, $L / (kA)$ and is measured in $k.W^{-1}$.

The heat transfer coefficient = k/L , measured in watts per kelvin, $W.K.A^{-1}$ - i.e watts per kelvin per square metre.

Приклад теплопровідності

- Подумайте, що відбувається, коли в морозильній камері накопичується шар льоду. Коли це відбувається, морозильна камера набагато гірше зберігає продукти замороженими. За нормальної роботи морозильна камера зберігає продукти замороженими за рахунок передачі тепла через алюмінієві стінки морозильної камери. Усередині морозильної камери підтримується температура $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$; ця температура підтримується завдяки тому, що інша сторона алюмінієвих стінок має температуру $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$.
-
- Товщина алюмінію становить 1,5 мм. Теплопровідність алюмінію становить $240\text{ Дж / (с м }^{\circ}\text{C)}$. При різниці температур 15° кількість тепла, що проходить через алюміній за секунду на квадратний метр, можна обчислити за рівнянням теплопровідності:
- $q = kDt/l = 240(15)/0.0015 = 2.4 \times 10^6\text{ Дж/с м}^2$.
- Це хороший показник тепловіддачі.

Приклад теплопровідності

- Подумайте, що відбувається, коли в морозильній камері накопичується шар льоду. Коли це відбувається, морозильна камера набагато гірше зберігає продукти замороженими. За нормальної роботи морозильна камера зберігає продукти замороженими за рахунок передачі тепла через алюмінієві стінки морозильної камери. Усередині морозильної камери підтримується температура $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$; ця температура підтримується завдяки тому, що інша сторона алюмінієвих стінок має температуру $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$.
-
- Товщина алюмінію становить $1,5\text{ мм}$. Теплопровідність алюмінію становить $240\text{ Дж / (квадратний метр, м }^{\circ}\text{C)}$. При різниці температур 15° кількість тепла, що проходить через алюміній за секунду на квадратний метр, можна обчислити за рівнянням теплопровідності:
- $q = kDt/l = 240(15)/0.0015 = 2.4 \times 10^6\text{ Дж/с м}^2$.
- Це хороший показник тепловіддачі.

Приклад теплопровідності

- Що станеться, якщо всередині морозильної камери утвориться 5 мм льоду? Тепер тепло з морозильної камери при температурі $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ необхідно передати через 5 мм льоду, а потім через 1,5 мм алюмінію назовні алюмінію при температурі $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Швидкість передачі тепла через лід і алюміній повинна бути однакою (оскільки тепло має проходити через обидва матеріали); це дозволяє розрахувати температуру на межі розділу лід-алюміній.
- Встановлення рівності коефіцієнтів тепловіддачі дає:
- $k_{ice}(-10 - T)/l_{ice} = k_{al}(T - 25)/l_{al}$
- Теплопровідність льоду становить $2,2\text{ Дж / (с м }^{\circ}\text{C)}$.
- Розв'язок для T дає: $T = (-10k_{ice} / l_{ice} - 25k_{al} / l_{al}) / (k_{ice} / l_{ice} + k_{al} / l_{al}) = -24.959^{\circ}\text{C}$
- Тепер замість того, щоб передавати тепло через алюміній з різницею температур у 15° , різниця становить лише $0,041^{\circ}$. Це дає коефіцієнт тепловіддачі:
- $J = kDt/l = 240(0,041) / (0,0015) = 6,6 \times 10^3\text{ Дж / (с м}^2\text{)}$.
- Таким чином, при покритті стінок льодом товщиною всього 5 мм швидкість теплопередачі знижується більш ніж у 300 разів! Морозильній камері доводиться витрачати набагато більше енергії, щоб зберігати продукти холодними. Ось чому виробники рекомендують регулярно розморожувати!

Періодична таблиця елементів

(Для довідки: кремній і германій є металлоїдами.)



Помилки та невизначеності

- ТОЧНІСТЬ І АКУРАТНІСТЬ:
- Точність - це близькість відповідності між вимірним значенням та істинним або прийнятим значенням (похибка вимірювання показує величину неточності).
- Точність - це міра ступеня узгодженості та відповідності між незалежними вимірюваннями однієї і тієї ж величини (також надійність або відтворюваність результату).
- Вольтметр, який показує 10, 10, 10, 10, 10 і 10 вольт при п'яти вимірюваннях відомої напруги 10 вольт, є одночасно точним і акуратним;
- Вимірювач, який реєструє 8,8,8,8,8 і 8 вольт при п'яти вимірах при відомій напрузі 10 вольт, є точним, але не акуратним
- Лічильник, який показує 11, 10, 8, 9 і 12 вольт при п'яти вимірюваннях відомого джерела 10 вольт, не є ні точним, ні надійним.

Помилки та невизначеності

- **ВИПАДКОВІ ТА СИСТЕМАТИЧНІ ПОМИЛКИ**
- Існує 2 типи помилок у вимірних даних. Важливо розуміти, з якими саме ви маєте справу, і як з ними працювати.
- **ВИПАДКОВІ ПОМИЛКИ** відносяться до випадкових коливань у вимірних даних через:
 - Читабельність приладу
 - Наслідки змін у навколишньому середовищі між вимірюваннями
 - Спостерігач не є досконалим (так, це ви!).
 - Випадкові похибки можна зменшити шляхом усереднення. Точний експеримент має малу випадкову похибку.
- **СИСТЕМАТИЧНІ ПОМИЛКИ** відносяться до відтворюваних коливань послідовно в одному і тому ж напрямку через:
 - Прилад неправильно відкалібрований
 - Прилад з нульовою похибкою (він не зчитує нуль, коли повинен - щоб виправити це, значення слід віднімати від кожного зчитування)
 - Спостерігач є менш досконалим таким же чином під час кожного вимірювання. □
 - Систематичні похибки неможливо виявити або зменшити шляхом проведення більшої кількості вимірювань. Навіть точний експеримент має невелику систематичну похибку.
 - При побудові графіків експериментальних даних можна відразу побачити, чи маєте ви справу з випадковими або систематичними помилками (якщо ви можете порівняти з теоретичними або очікуваними результатами).

Помилки та невизначеності

- ЗВІТУВАННЯ ПРО ОДИН ВИМІР
- Ви здивуєтеся, як мало людей насправді знають, як правильно прочитати щось!
- Більшість людей намагаються повідомити виміряне значення з надто високим ступенем достовірності, висловлюючи більшу впевненість у повідомлюваному значенні, ніж воно є насправді. Цього слід уникати! Це погана практика.
- Зазвичай ми повідомляємо про виміряне значення чогось з десятковим знаком або з точністю, що не виходить за межі найменшої поділки (так званого "найменшого відліку") на приладі. У випадках, коли найменша ціна поділки достатньо широка, щоб з упевненістю оцінити значення за нею, ви можете так і зробити. Зрештою, експериментатор сам вирішує, як подавати виміряне значення, але будьте консервативними і не переоцінюйте точність приладу.
- Іноді можна почути, що невизначеності, як правило, слід подавати як $\frac{1}{2}$ найменшого значення; це технічно правильно. Але оскільки їх слід подавати з тією ж кількістю десяткових знаків, що й у приладі, на практиці це означає, що їх слід подавати як \pm найменше значення.

Помилки та невизначеності

- Невизначеність у розрахункових результатах: абсолютна та відсоткова невизначеність
- Абсолютні невизначеності виражаються як \pm кількість одиниць у вимірюванні ($\pm \Delta x$).
- Довжина = 234 ± 2 мм Період = $1,6 \pm 0,3$ с
- Це одразу показує вам максимальні та мінімальні експериментальні значення вимірювання.
- Абсолютні невизначеності мають ті самі одиниці, що й заявлене вимірювання. Усі невизначеності починаються з абсолютної невизначеності, вказаної відповідно до невизначеності точності приладу.
- Невизначеності у відсотках виражаються як \pm [часткова невизначеність вимірювання $\times 100$] ($\pm [(\Delta x/x)100]\%$).
- Довжина = 234 ± 2 мм або $234 \pm (2/234)\times 100 = 234 (\pm 8,5 \%)$ мм
- Період = $1,6 \pm 0,3$ с або $1,6 \pm (0,3/1,6)\times 100 = 1,6 (\pm 18,8 \%)$ мм
- Відсоткові невизначеності не мають одиниці виміру і можуть заощадити багато часу при проведенні розрахунків, навіть незважаючи на те, що такий спосіб вираження невизначеності здається громіздким.

Помилки та невизначеності

- Хорошим тоном є залишати всі остаточні обчислені відповіді з абсолютною невизначеністю. Тому потрібно вміти переходити від абсолютної невизначеності до відсоткової і навпаки. Такі константи, як π , не впливають на розрахунок невизначеності.
- При виконанні обчислень, пов'язаних з відсотковою невизначеністю, простіше опустити крок ($\times 100$) і просто перемножити, використовуючи десяткову форму.
- Невизначеності при побудові графіків:
- У багатьох випадках найкращий спосіб представити та проаналізувати дані - це побудувати графік. Графік - це візуальне представлення двох речей, яке наочно показує, як вони пов'язані між собою. Графік є візуальним відображенням кількісної інформації і дозволяє нам розпізнавати тенденції в даних. Графіки також дозволяють добре відображати невизначеності.

Помилки та невизначеності

- Гарний спосіб показати невизначеність у даних - це гістограми похибок. Це смуги в напрямках x і y навколо кожної точки даних, які відразу показують, наскільки великою або малою є невизначеність для цього значення. Невизначеності можуть бути постійними значеннями для кожної точки даних або значеннями у відсотках (у цьому випадку довжина буде різною).
- Так чи інакше, поле помилок створюється, коли навколо точки даних є смуги помилок в обох напрямках - x і y . Зазвичай це прямокутник, розмір якого часто змінюється навколо кожної точки.

