

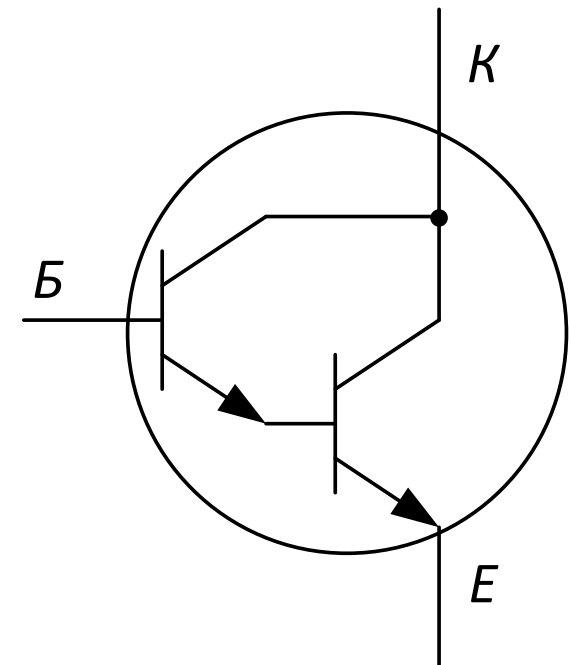
## Лекція 16

# Інші напівпровідникові електронні компоненти (тиристори etc)

# Складений транзистор (транзистор Дарлінгтона)

Складений транзистор (транзистор Дарлінгтона) – об'єднання двох чи більше біполярних транзисторів з метою збільшення коефіцієнта підсилення за струмом. Такий транзистор використовується у схемах, що працюють з великими струмами (наприклад, в схемах стабілізаторів напруги, вихідних каскадах підсилювачів потужності) і у вхідних каскадах підсилювачів, якщо необхідно забезпечити великий вхідний імпеданс.

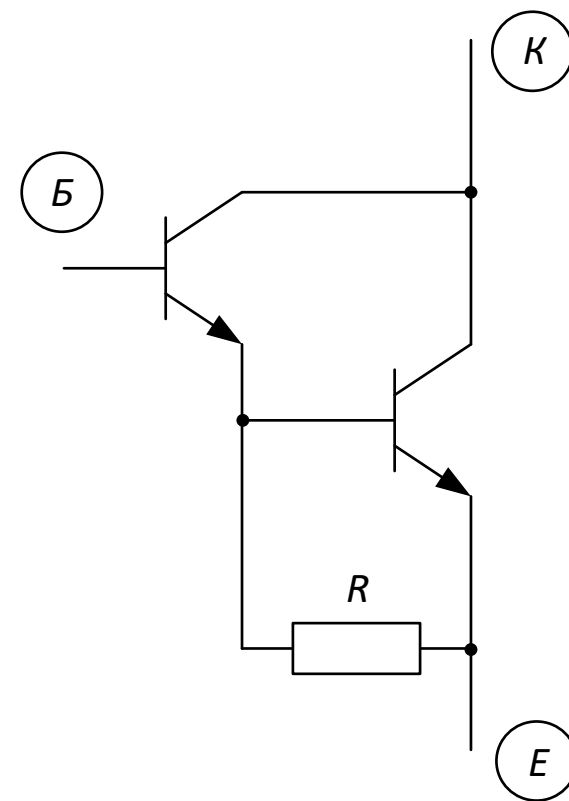
Складений транзистор має три виводи (база, емітер і колектор), які еквівалентні выводам звичайного одиночного транзистора. Коефіцієнт підсилення за струмом типового складеного транзистора у потужних транзисторів (наприклад у КТ825)  $\beta \approx 1000$  та у малопотужних транзисторів (типу КТ3102 і т.п.)  $\beta \approx 50000$ . Це означає, що невеликого струму бази достатньо для того, щоб складений транзистор відкрився.



# Складений транзистор (транзистор Дарлінгтона)

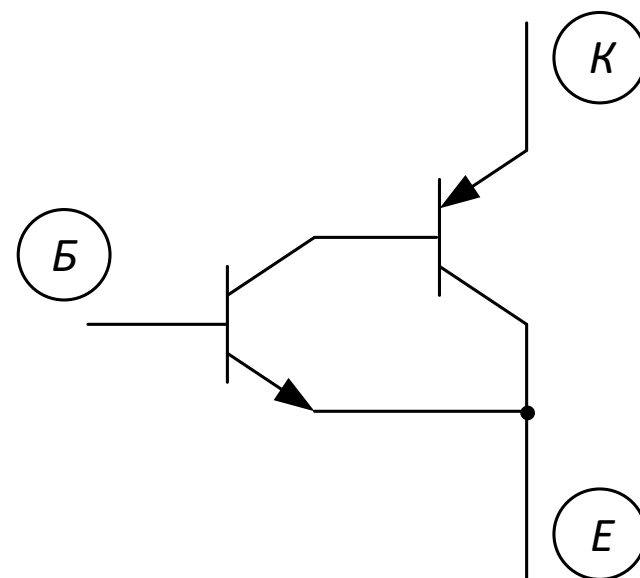
Складений транзистор є каскадним з'єднанням декількох транзисторів, включених таким чином, що навантаженням на емітері попереднього каскаду є перехід база-емітер транзистора наступного каскаду, тобто транзистори з'єднуються колекторами, а емітер вхідного транзистора з'єднується з базою вихідного. Крім того, у складі схеми для прискорення закривання може використовуватися резистивне навантаження першого транзистора. Таке з'єднання в цілому розглядають як один транзистор, коефіцієнт посилення по струму якого при роботі транзисторів в активному режимі приблизно дорівнює добутку коефіцієнтів посилення першого і другого транзисторів:

$$\beta = \beta_1 \beta_2$$



# Схема Шиклаї (комплементарний тринзистор Дарлінгтона)

Схожою на схему Дарлінгтона є з'єднання транзисторів за схемою Шиклаї (Sziklai pair), що названа так на честь її винахідника Джорджа К. Шиклаї, також іноді званою комплементарним транзистором Дарлінгтона. На відміну від схеми Дарлінгтона, що складається з двох транзисторів одного типу провідності, схема Шиклаї містить транзистори різної провідності (PNP і NPN). Пара Шиклаї поводить себе як NPN-транзистор з великим коефіцієнтом підсилення. Вхідна напруга – це напруга між базою і емітером транзистора Q1, а напруга насичення дорівнює принаймні падінню напруги на діоді. Між базою і емітером транзистора Q2 рекомендується включати резистор невеликого опору. Така схема застосовується у потужних двотактних вихідних каскадах при використанні вихідних транзисторів однієї провідності.



## Переваги:

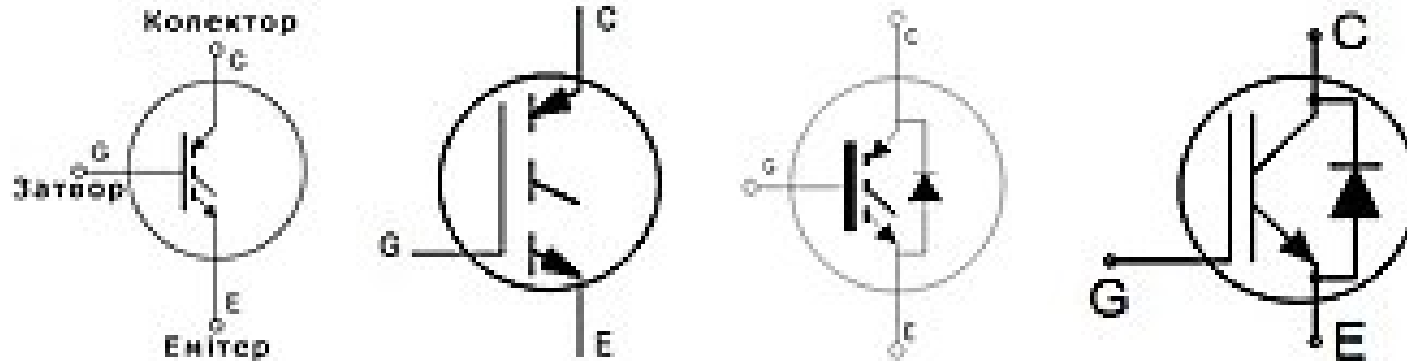
- Високий коефіцієнт підсилення за струмом.
- Схема Дарлінгтона виготовляється у вигляді інтегральних схем і при однаковому струмі робоча поверхня кремнію менша, ніж у біполярних транзисторів. Такі схеми складають великий інтерес на високих напругах.

## Недоліки:

- Низька швидкодія, особливо переходу з відкритого стану в закритий. З цієї причини складені транзистори використовуються переважно в низькочастотних ключових і підсилювальних схемах, на високих частотах їх параметри гірші, ніж у одиночного транзистора.
- Пряме падіння напруги на переході база-емітер в схемі Дарлінгтона майже вдвічі більшим ніж в звичайному транзисторі, і становить для кремнієвих транзисторів близько 1,2 – 1,4 В (не може бути меншим за подвоєне падіння напруги на р-п переході).
- Велика напруга насичення колектор-емітер, для кремнієвого транзистора складає близько 0,9 В (у порівнянні з 0,2 В у звичайних транзисторів) для малопотужних транзисторів і близько 2 В для транзисторів великої потужності (не може бути менше суми падіння напруги на р-п переході і падіння напруги на насиченому вхідному транзисторі).

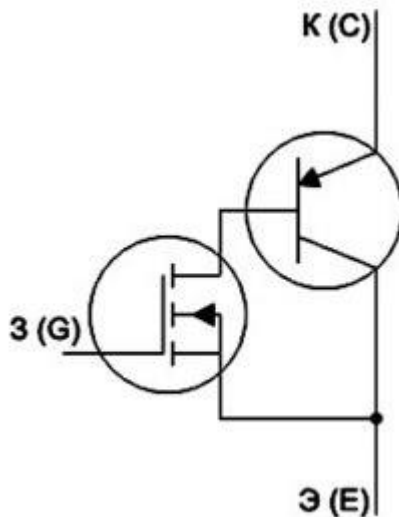
# Біполярний транзистор з ізолюваним затвором (IGBT)

IGBT (англ. *Insulated-gate bipolar transistor*, укр. *біполярний транзистор із ізолюваним затвором*) – триелектродний силовий напівпровідниковий прилад, що поєднує два транзистора в одній напівпровідниковій структурі: біполярний (утворює силовий канал) і польовий (утворює канал управління). Використовується, в основному, як потужний електронний ключ в імпульсних джерелах живлення, інверторах, в системах управління електричними приводами.

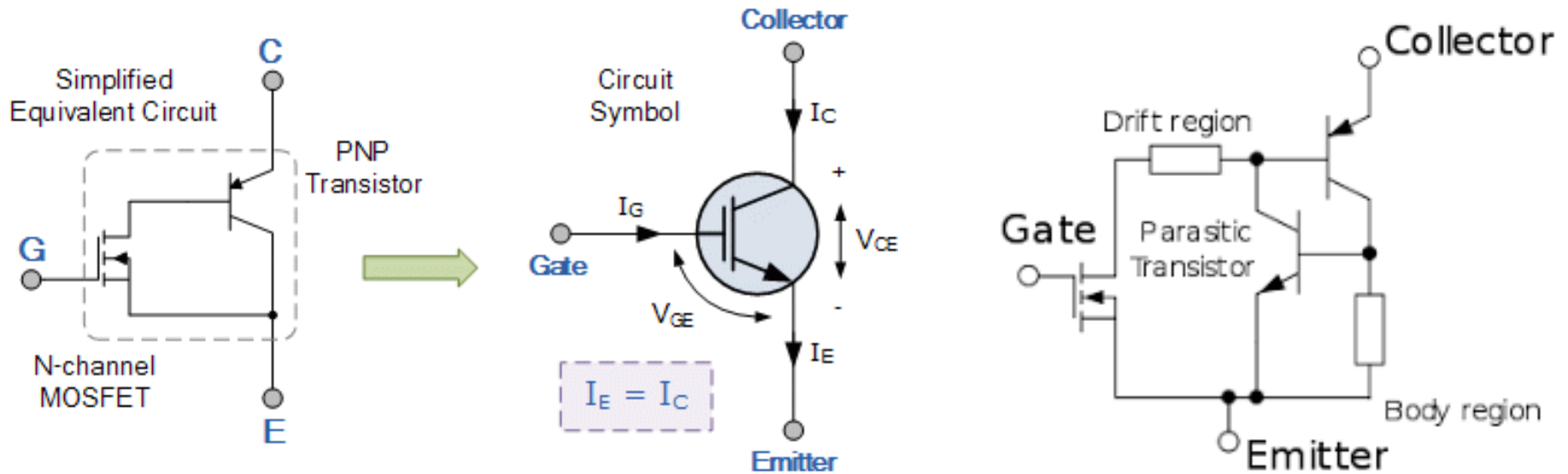


# Біполярний транзистор з ізольованим затвором (IGBT)

Каскадне включення транзисторів двох різних типів дозволяє поєднувати їх переваги в одному приладі: вихідні характеристики біполярного (велика допустима робоча напруга і опір відкритого каналу пропорційно струму, а не квадрату струму, як у польових) і вхідні характеристики польового (мінімальні витрати на керування). Керуючий електрод називається затвором, як у польового транзистора, два інших електрода - емітером і колектором, як у біполярного. У деяких випадках транзистори даного типу доцільно встановлювати на зварювальні інвертори. У них вони замінюють звичайні польові транзистори (МДП-транзистори).

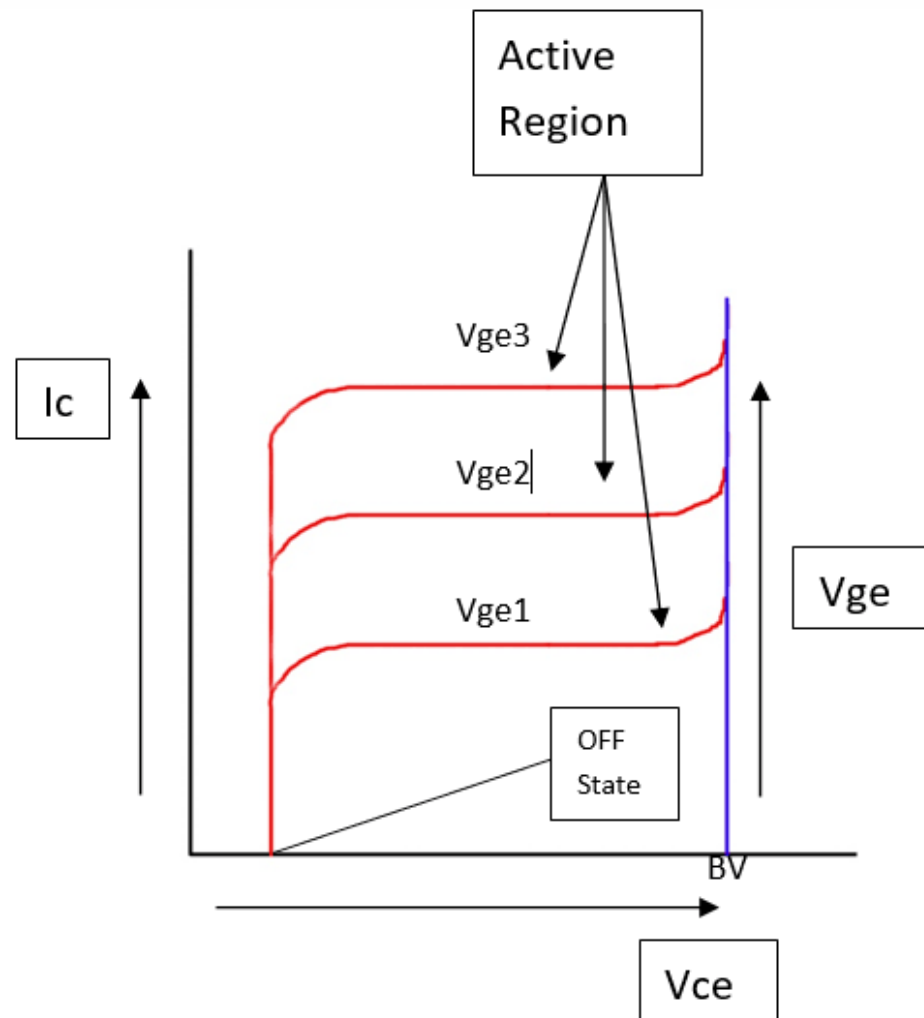
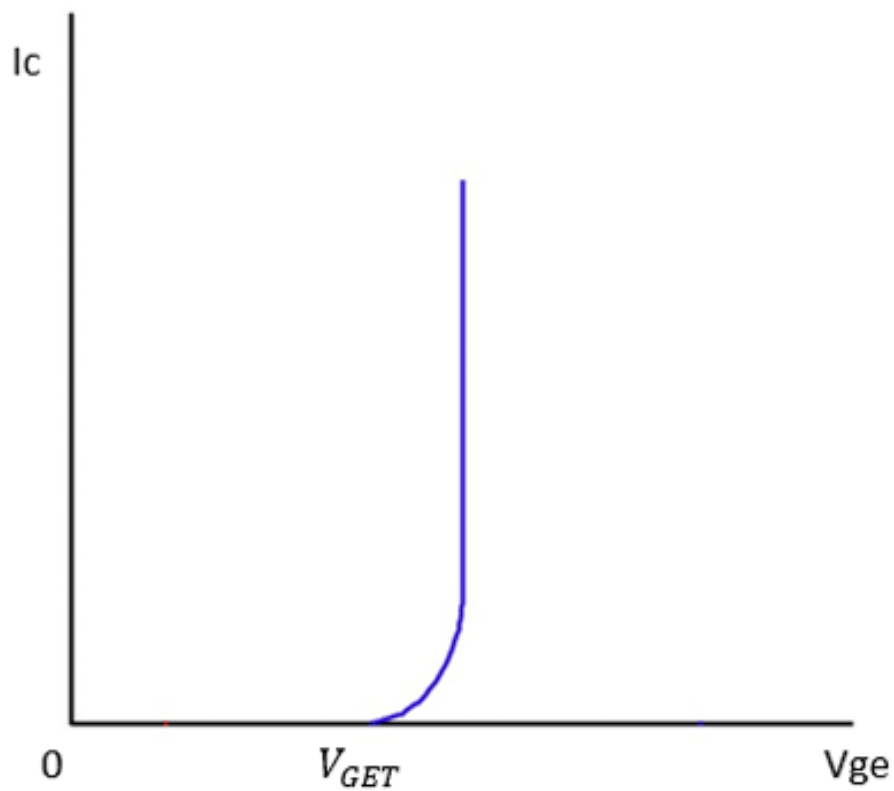


# Біполярний транзистор з ізольованим затвором (IGBT)





# Вхідні та вихідні характеристики IGBT



Тиристор (від грецького *thyra* – двері + резистор) – напівпровідниковий прилад вентильного типу, який відкривається для пропускання електричного струму при досягненні порогового значення напруги між анодом і катодом або за умови подачі невеликої напруги на керуючий електрод. Також цей електронний компонент часто називають напівпровідниковим керованим вентилем (англ. Silicon/Semiconductor Controlled Rectifier, SCR).



Несиметричний  
діодний тиристор  
(диністор)

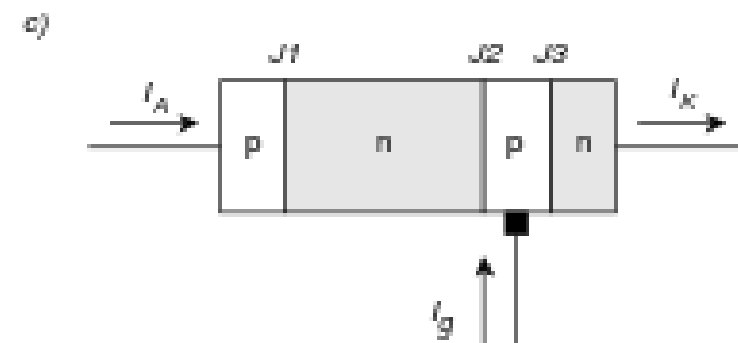
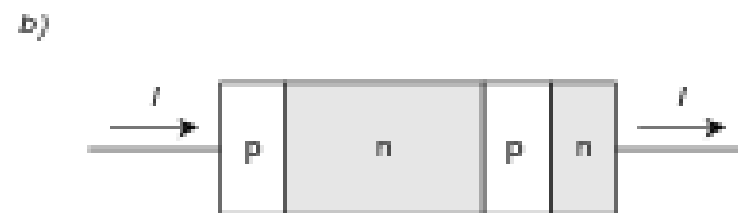
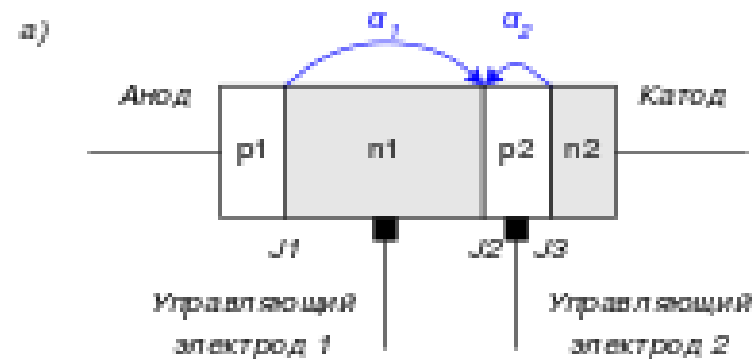


Несиметричний  
незакриваючий тріодний  
тиристор (триністор) з  
керуванням за анодом

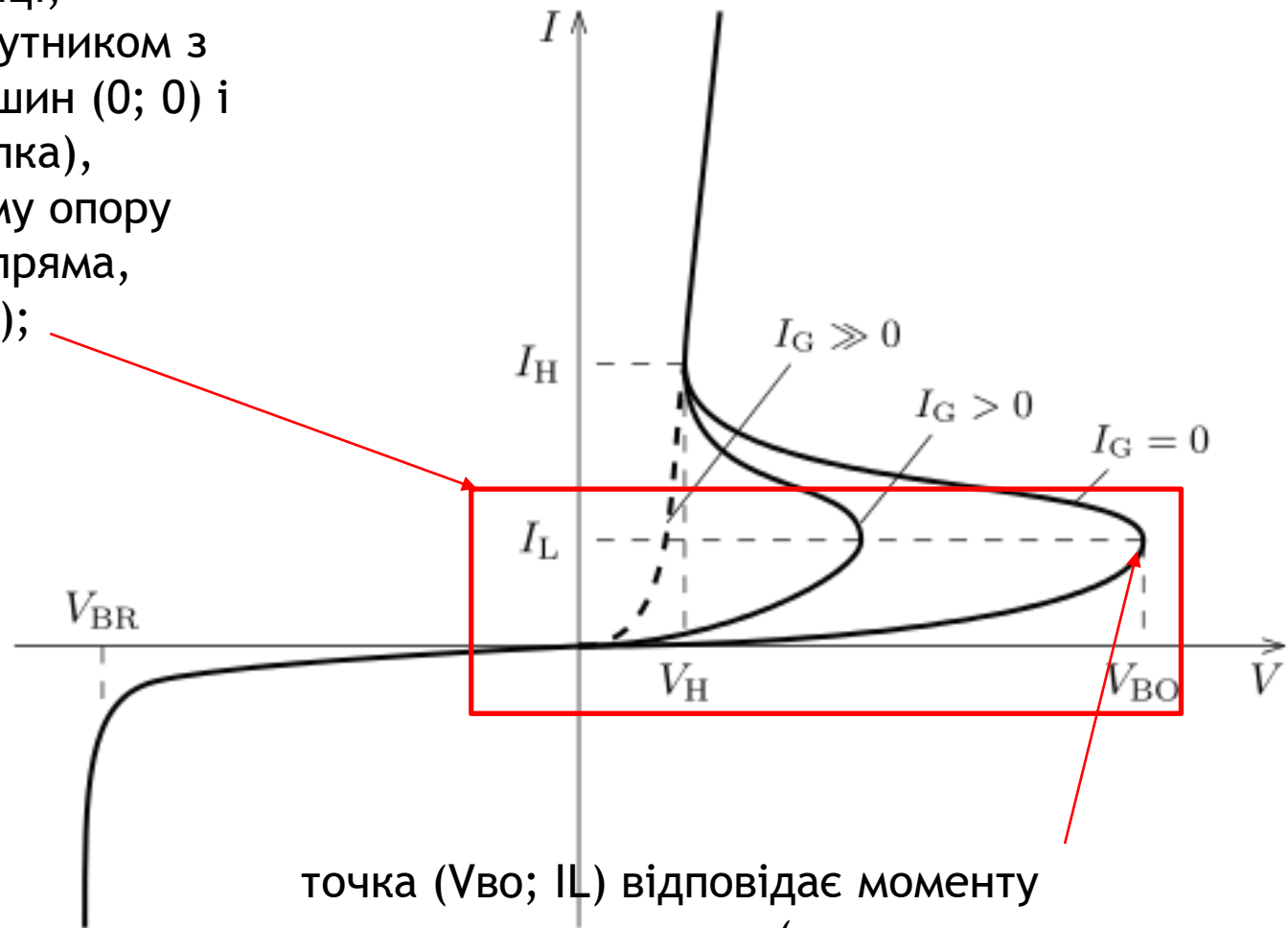


Несиметричний  
незакриваючий тріодний  
тиристор (триністор) з  
керуванням за катодом

Тиристор складається з чотирьох напівпровідникових (шарів), які з'єднані послідовно і відрізняються типами провідності: р-n-p-n. р-n-переходи, — переходи між провідниками, — на рисунку позначені як «J1», «J2» і «J3». Електрод під'єднаний до зовнішнього р-шару називається анодом, до зовнішнього n-шару — катодом. У загальному випадку, р-n-p-n-прилад може мати до двох керуючих електродів (баз), під'єднаних до внутрішніх шарів. Подачею сигналу на керуючий електрод здійснюється управління тиристором (зміна його стану).

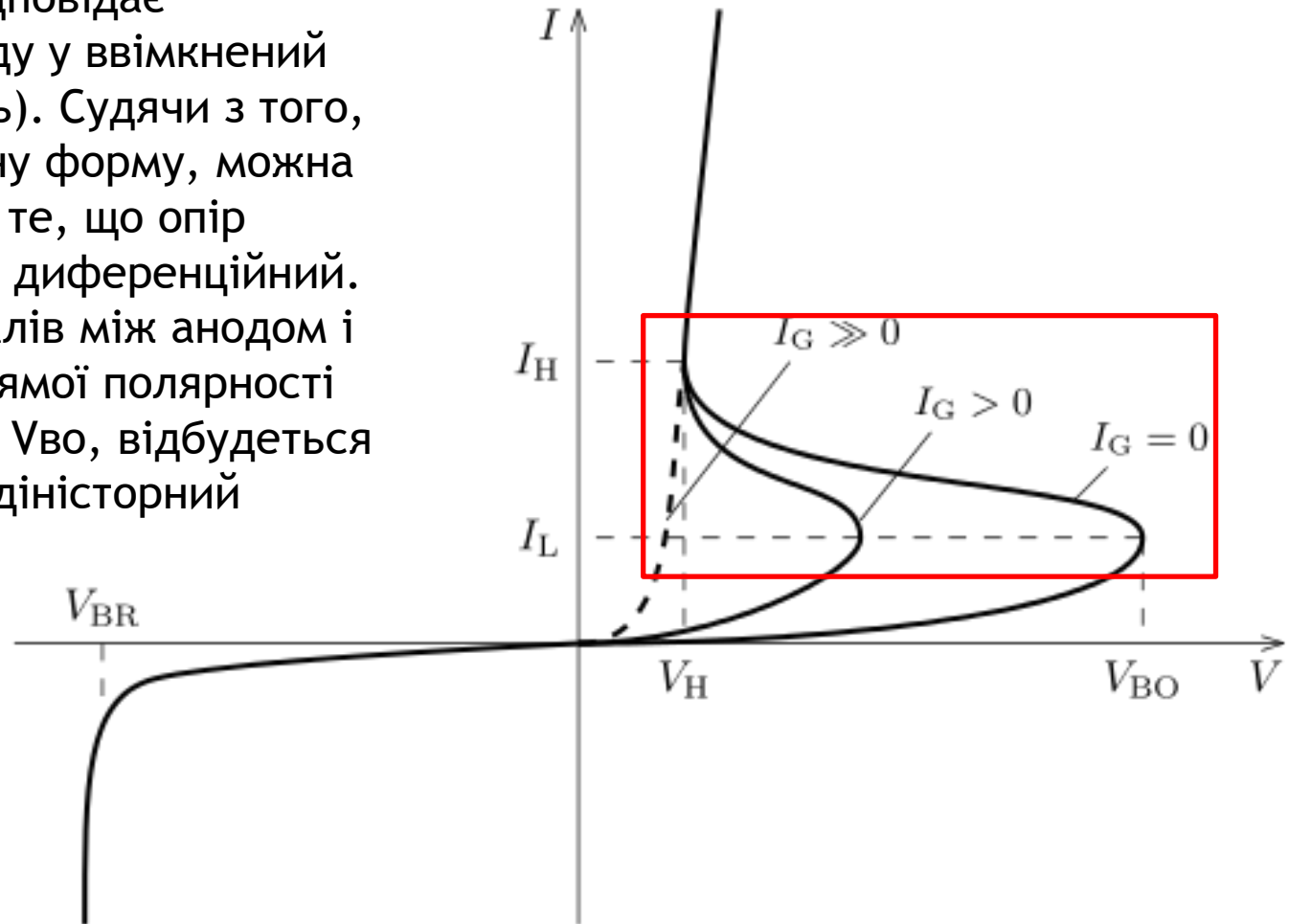


крива ВАХ на ділянці,  
обмеженій прямокутником з  
координатами вершин  $(0; 0)$  і  
 $(V_{BO}; I_L)$  (нижня гілка),  
відповідає високому опору  
приладу (напруга пряма,  
прилад вимкнений);



точка  $(V_{BO}; I_L)$  відповідає моменту  
включення тиристора (переключення  
динистора у ввімкнений стан);

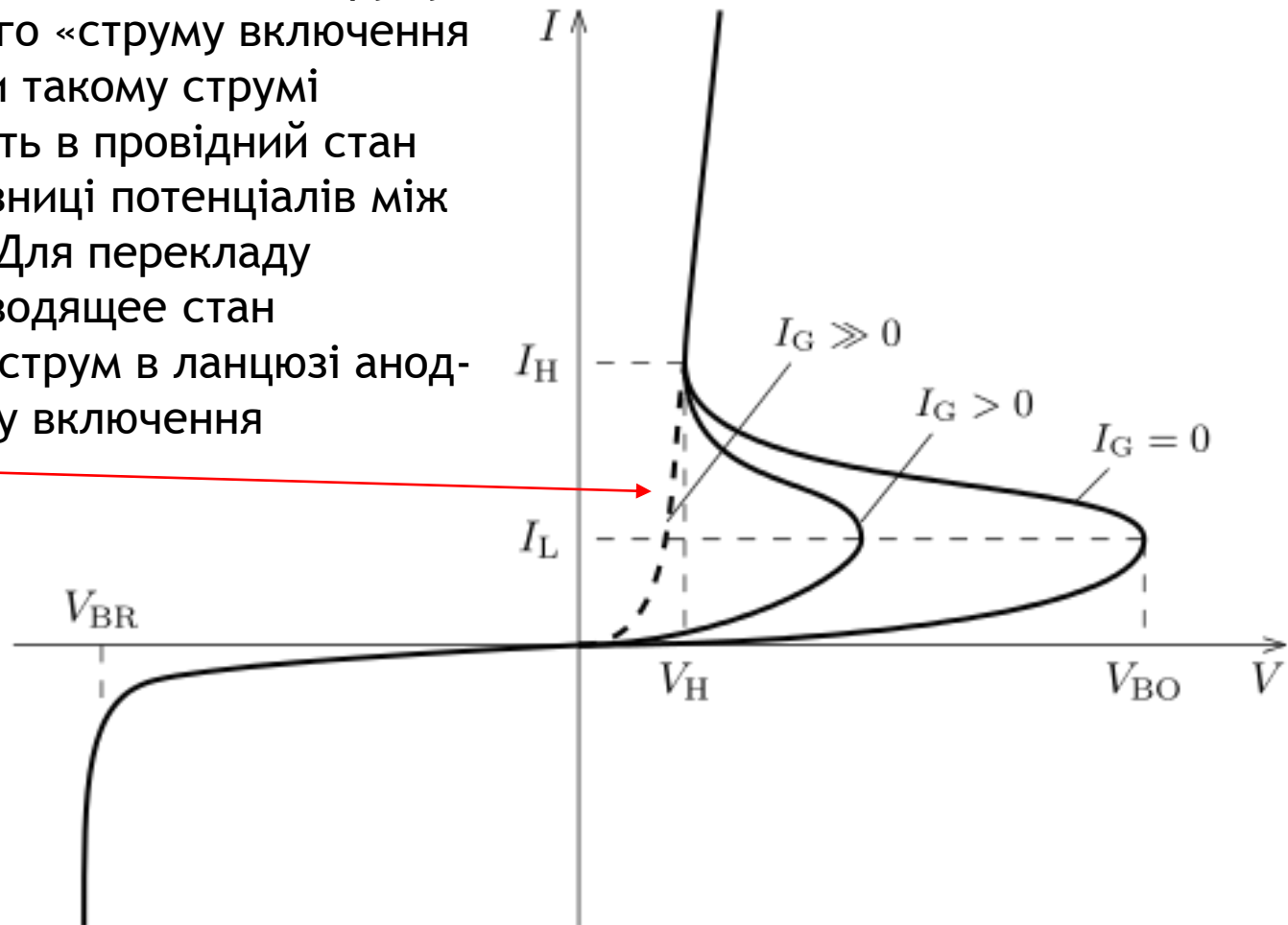
крива ВАХ на ділянці, обмеженій прямокутником з координатами вершин ( $V_{BO}$ ;  $I_L$ ) і ( $V_H$ ;  $I_H$ ), відповідає переключенню приладу у ввімкнений стан (нестійка область). Судячи з того, що крива має S-подібну форму, можна зробити висновок про те, що опір тиристора негативний диференціальний. Коли різниця потенціалів між анодом і катодом тиристора прямої полярності перевищить величину  $V_{BO}$ , відбудеться вмикання тиристора (діністорний ефект);



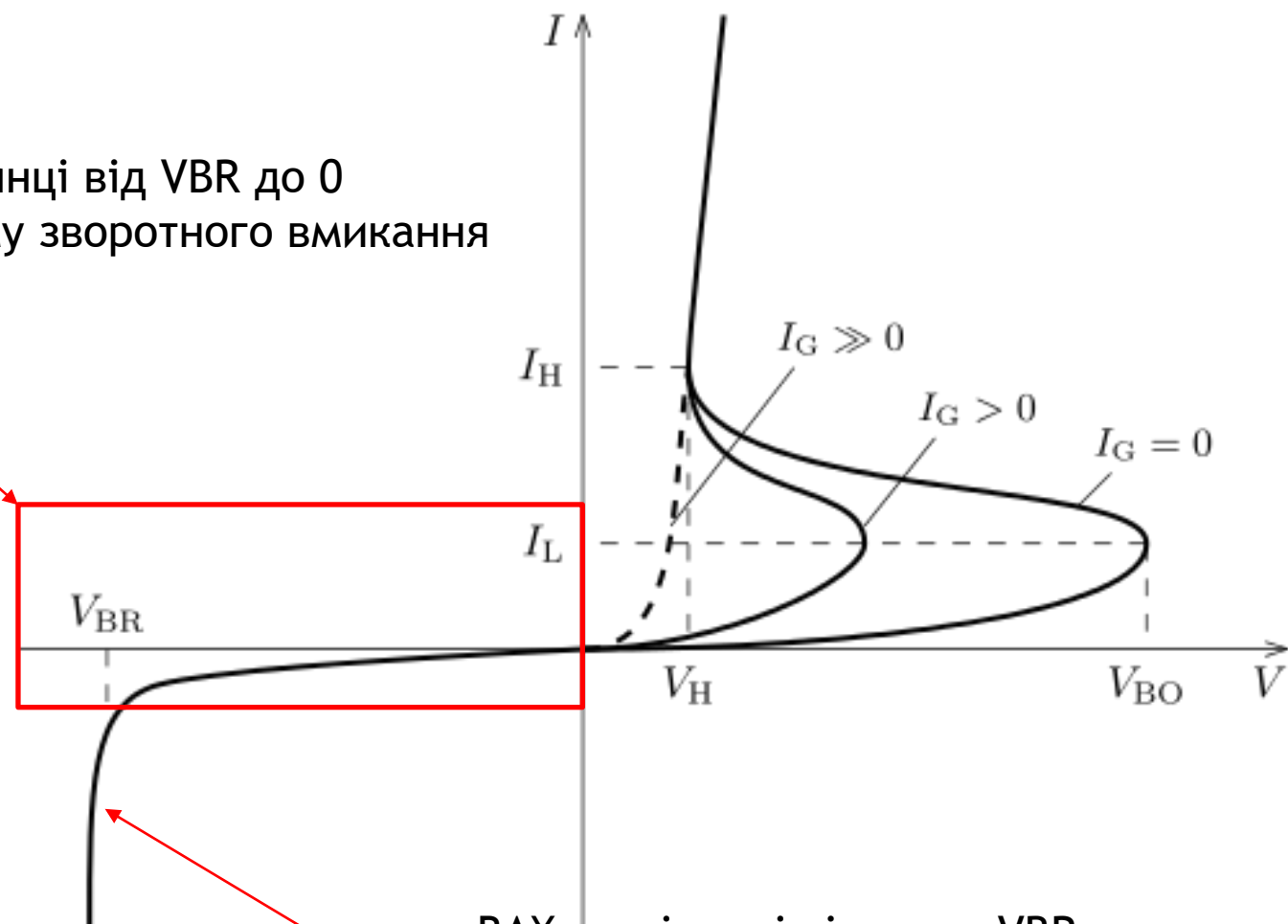
крива ВАХ від точки з координатами ( $V_H$ ;  $I_H$ ) і вище відповідає відкритого стану приладу (прямій провідності);  
на графіку показані ВАХ з різними струмами управління  $I_G$  (струмами на керуючому електроді тиристора):  $I_G = 0$ ;  $I_G > 0$ ;  $I_G \gg 0$ . Чим більше струм  $I_G$ , тим при меншій напрузі  $V_{BO}$  відбувається перемикання тиристора в провідний стан;



пунктиром позначена крива ВАХ, відповідна протіканню в ланцюзі струму  $I_G \gg 0$  – так званого «струму включення випрямлення». При такому струмі тиристор переходить в провідний стан при мінімальній різниці потенціалів між анодом і катодом. Для перекладу тиристора в непровідящее стан необхідно знизити струм в ланцюзі анод-катод нижче струму включення випрямлення;



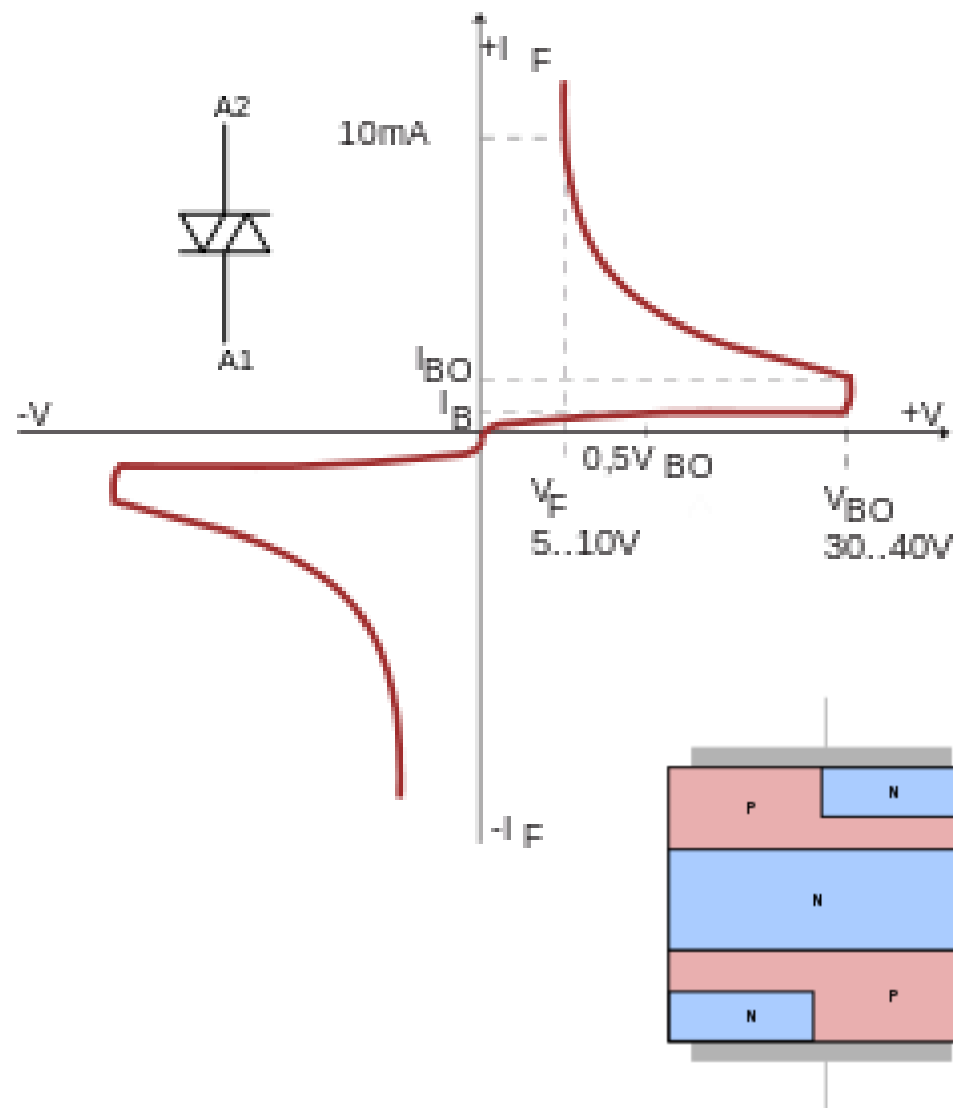
крива ВАХ на ділянці від  $V_{BR}$  до 0  
відповідає режиму зворотного вмикання  
приладу;



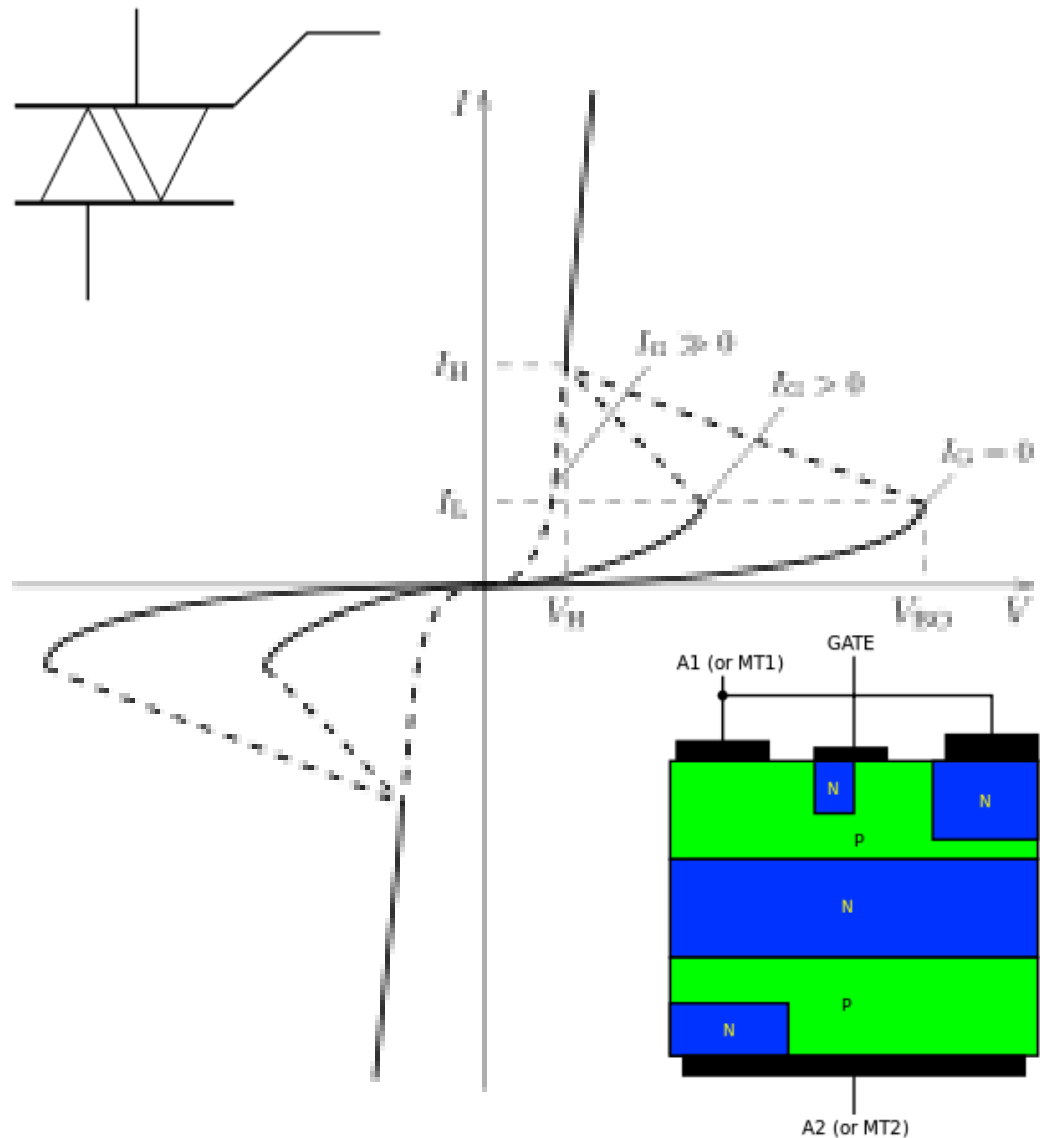
крива ВАХ на ділянці від  $-\infty$  до  $V_{BR}$   
відповідає режиму зворотного пробую.



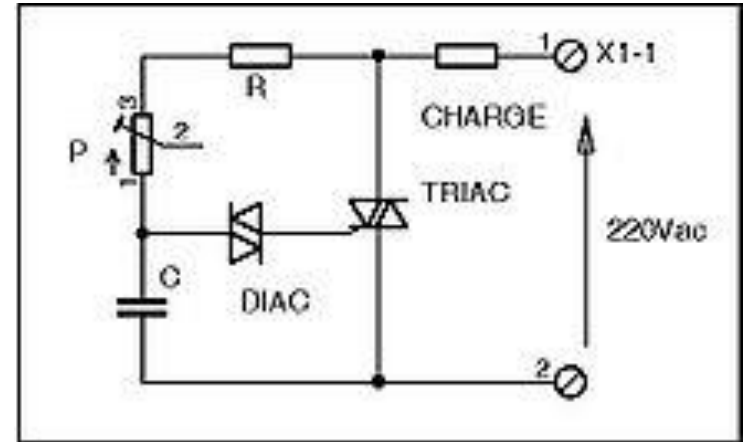
Діак, або симетричний диністор (англ. DIAC – Diode for Alternating Current) – різновид тиристора, двонаправлений напівпровідниковий тригерний елемент, що складається з двох з'єднаних зустрічно-паралельно диністорів. Діак переходить зі стану блокування у стан провідності, як правило, при напрузі близько 30 В (залежно від моделі, але ця напруга не перевищує декількох сотень вольт), а типове значення прямого струму не перевищує декількох десятків ампер. Зазвичай вони використовуються в системах запуску симісторів.



Симістор (симетричний тріодний тиристор) або тріак (від англ. TRIAC – triode for alternating current) – напівпровідниковий прилад, що є різновидом тиристора. Використовується для комутації в колах змінного струму. У електроніці часто розглядається як керований вимикач (ключ).



Для управління навантаженням основні електроди симистора включаються до ланцюга послідовно з навантаженням. У закритому стані провідність симистора відсутня, навантаження вимкнено. При подачі на керуючий електрод сигналу, що відпирає, між основними електродами симистора виникає провідність, навантаження виявляється включеною.

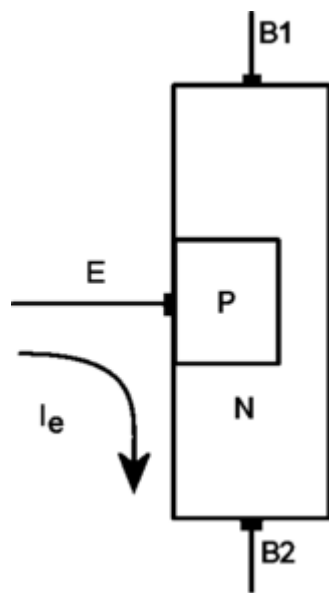


Симистор у відкритому стані проводить струм в обох напрямках. Інший особливістю симистора, як та інших тиристорів, і те, що його утримання у відкритому стані немає необхідності постійно подавати сигнал на керуючий електрод (на відміну транзистора). Симистор залишається відкритим, поки струм, що протікає через основні висновки, перевищує деяку величину, звану струмом утримання. Звідси випливає, що вимкнення навантаження в ланцюзі змінного струму відбувається поблизу моментів часу, коли струм через основні електроди симистора змінює напрямок (зазвичай це збігається за часом зі зміною полярності напруги в мережі).

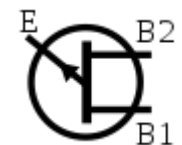
# Одноперехідний транзистор

Одноперехідний транзистор (ОПТ) – напівпровідниковий прилад з трьома електродами і одним р-п переходом. Інколи його називають ще двохбазовий діод. Належить до сімейства тиристорів.

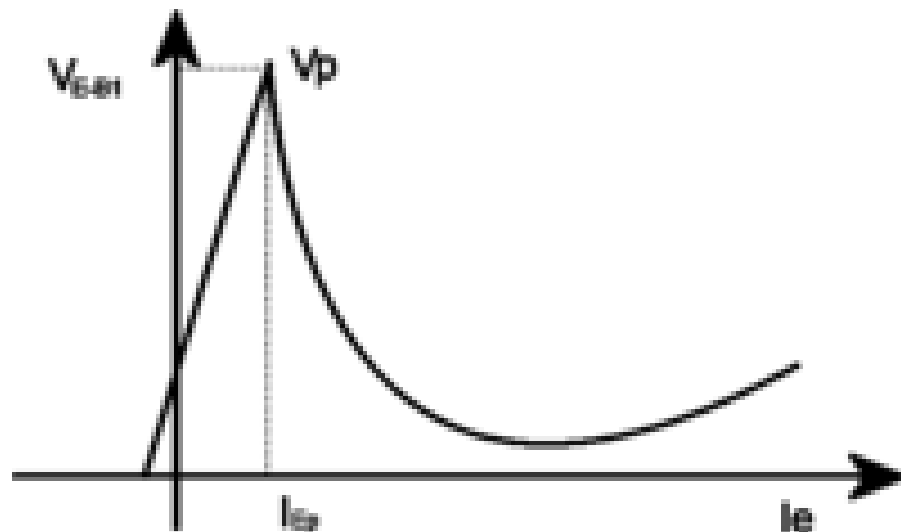
Основою транзистора є кристал напівпровідника (наприклад n-типу), який називається базою. На кінцях кристала є омичні контакти Б1 і Б2, між якими розташовується область, що має випрямляючий контакт Е з напівпровідником р-типу, що виконує роль емітера.



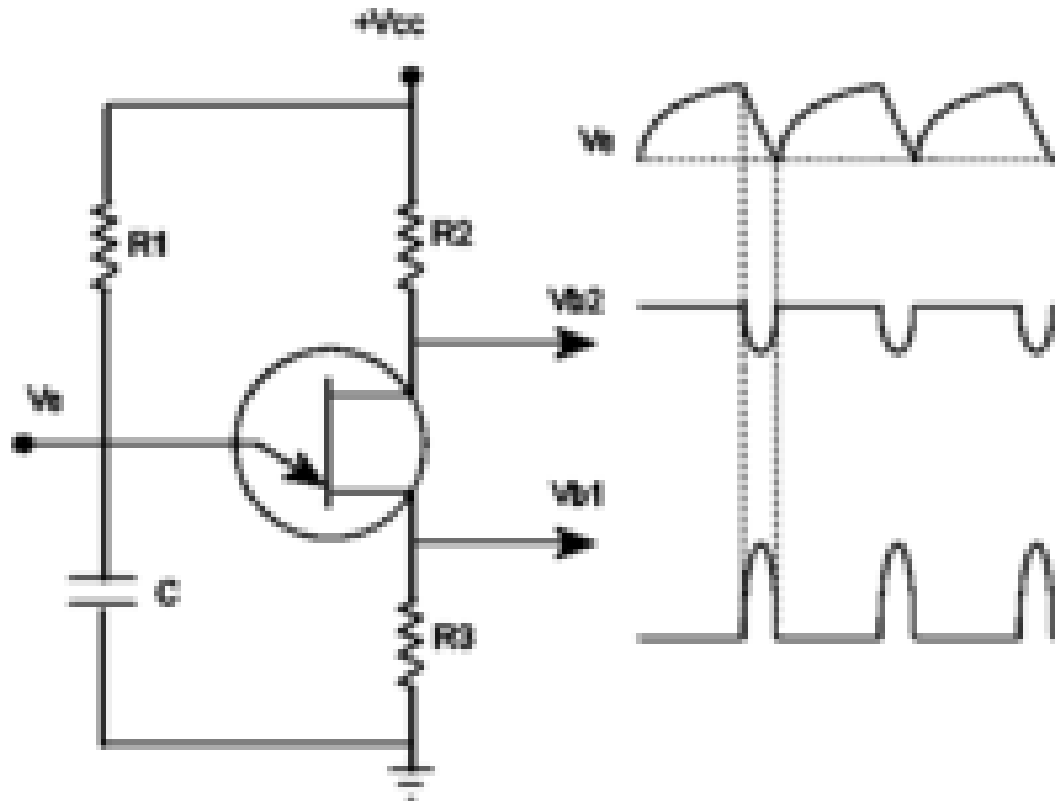
n-канал



p-канал

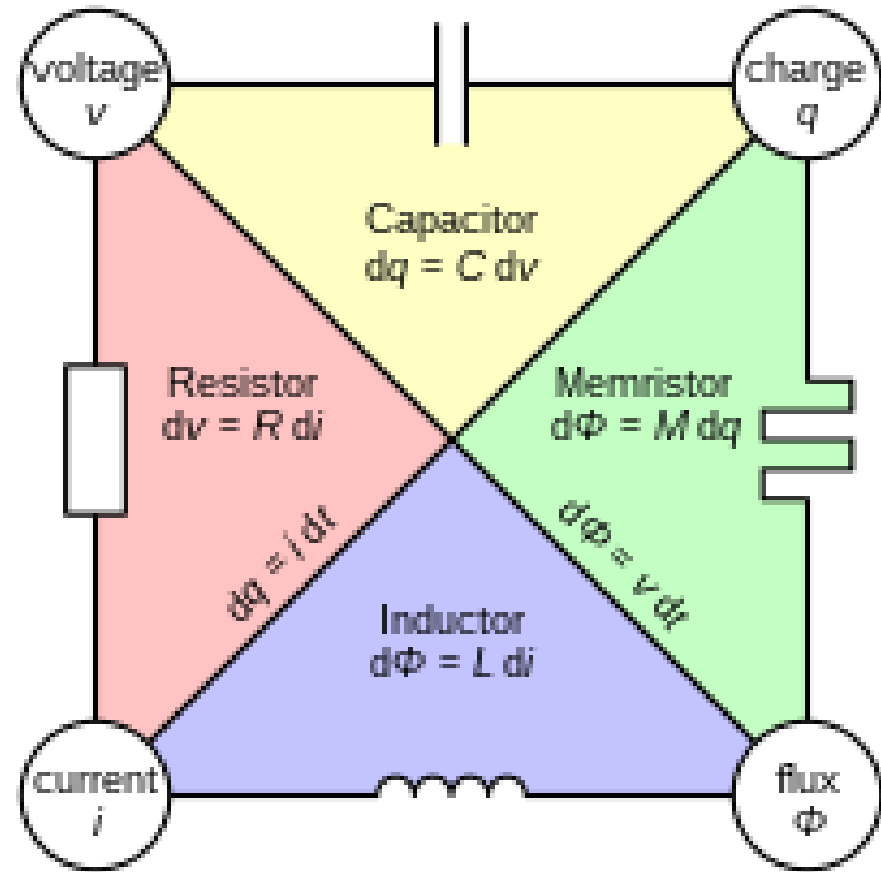


Релаксаційний генератор - генератор коливань, пасивні та активні нелінійні елементи якого не володіють резонансними властивостями. На практиці, найчастіше, один або кілька активних елементів в таких генераторах працює в ключовому (релейному) режимі - включений / виключений.



Мемристор (англ. memristor, від memory – «пам'ять», та resistor – «опір») – четвертий базовий елемент електричної ланки. Вперше запропонований у вересні 1971 року Леоном Чуа (Leon Chua). Це пасивний двополіусник з нелінійною вольт-амперною характеристикою (ВАХ), що має гістерезис. Поряд із трьома відомими базовими пасивними елементами аналогових електричних схем – резистором, конденсатором та індуктивністю цей пасивний елемент створював замкнуту технологічну систему для виробництва максимально різноманітних пристроїв аналогової та цифрової схемотехніки.

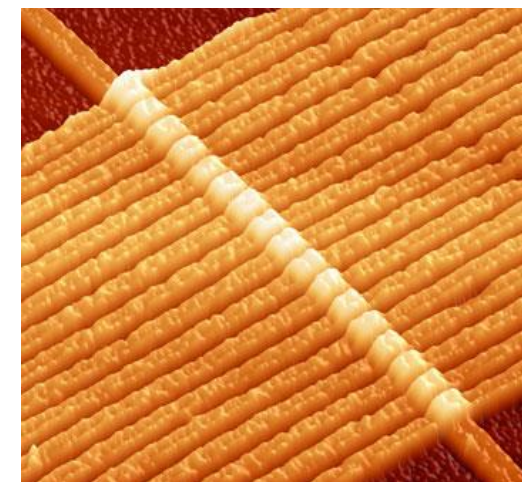
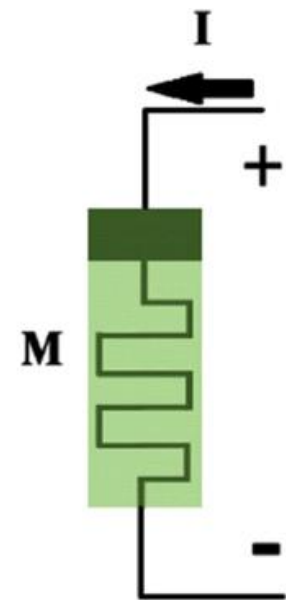
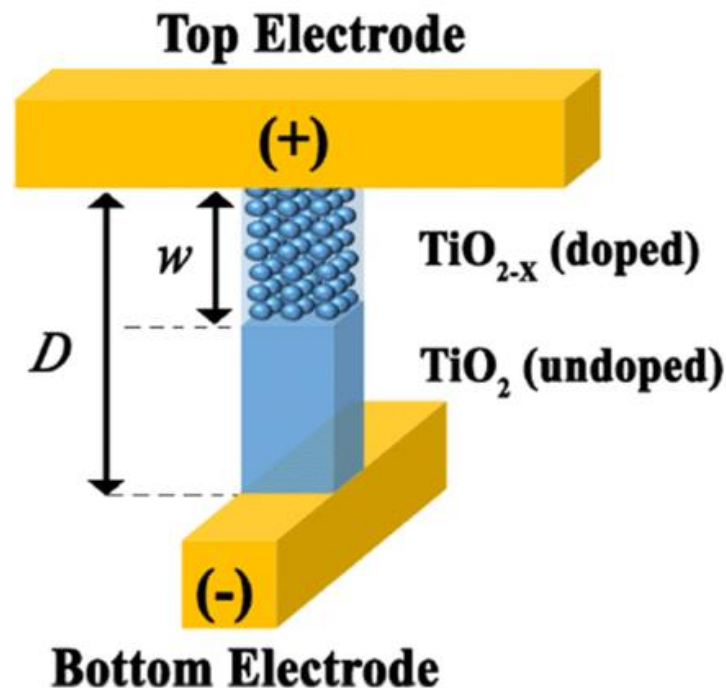
<https://en.wikipedia.org/wiki/Memristor>



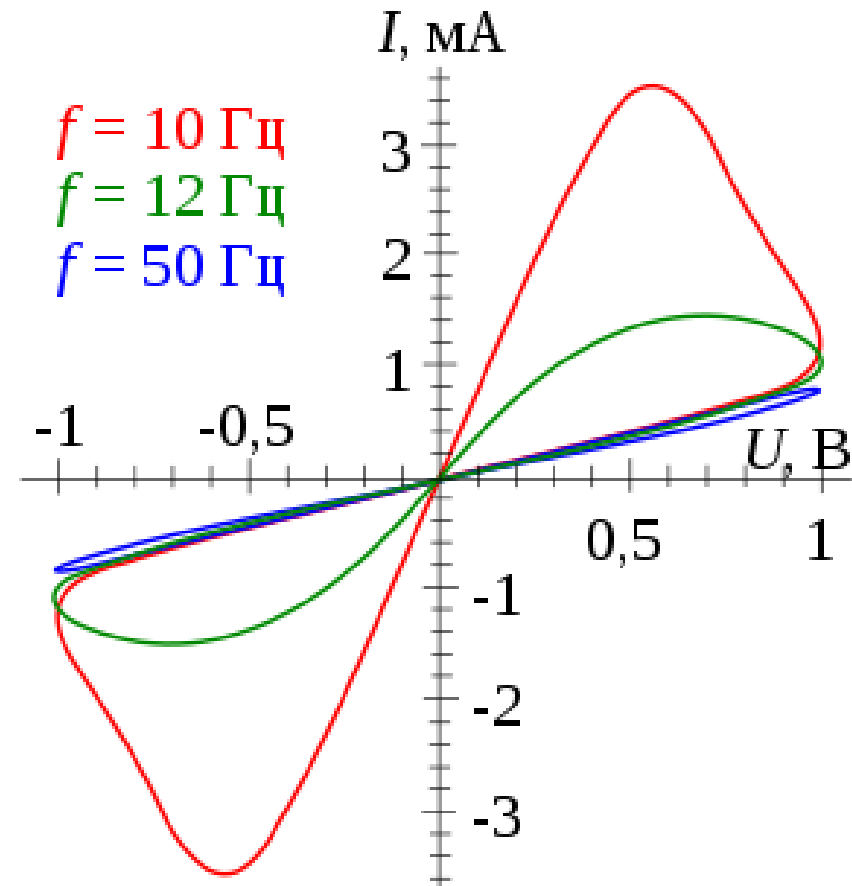
Лабораторний зразок запам'ятовуючого елемента, демонструє деякі властивості мемристора, було створено 2008 року колективом вчених на чолі з Р. С. Вільямсом в дослідницькій лабораторії фірми Hewlett-Packard.

На відміну від теоретичної моделі, отриманий пристрій не накопичує заряд, подібно до конденсатора, і не зберігають магнітний потік, як котушка індуктивності.

Робота пристрою (зміна його опору - резистивне перемикання, - та інших властивостей) забезпечується за рахунок хімічних перетворень у тонкій (5 нм) двошаровій плівці діоксиду титану. Один із шарів плівки злегка збіднений киснем, і кисневі вакансії мігрують між шарами під дією прикладеного до пристрою електричної напруги. Цю реалізацію мемристора слід зарахувати до класу наноіонних пристроїв.



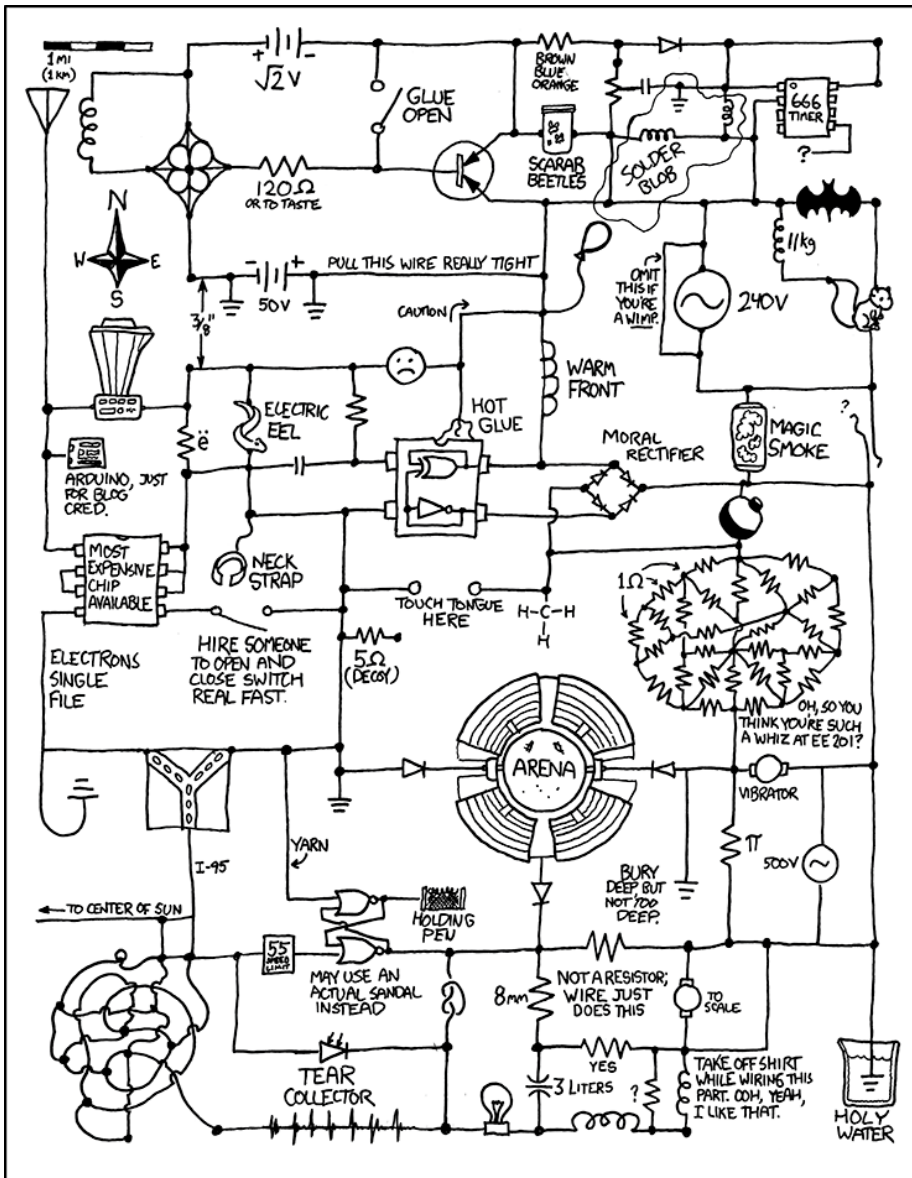
Розглядається можливість застосування мемісторів як штучних синапсів (вагових модулів) нейропроцесорів та штучних нейромереж. Поведінка мемрістора нагадує роботу біологічного синапсу - чим інтенсивніше вхідний сигнал, тим вище пропускна здатність синапсу («вага» сигналу). Зокрема, нейромережі на основі мемісторів можуть навчатися за біоподібними правилами. Це рішення дозволить сильно спростити конструкцію нейропроцесора і зменшити його вартість, тому що добре пристосований для виробництва на існуючих технологічних лініях з виробництва мікросхем. Однак, станом на 2021 рік залишається невирішеною основна проблема мемристорних пристроїв - їх відтворюваність (як від екземпляра до екземпляра, так і від циклу до циклу перемикавання стану).



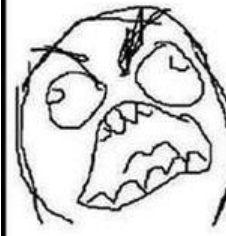


Явище гістерезису, що спостерігається в мемристорі, дозволяє використовувати його як осередок пам'яті (RRAM). Гіпотетично мемристори зможуть замінити транзистори у деяких приватних застосуваннях.

Теоретично мемристорні елементи, що запам'ятовують, можуть бути більш компактними і швидкими, ніж сучасна флеш-пам'ять. Також блоки можуть замінити ОЗУ. Особливість мемристорів «запам'ятовувати» заряд може дозволити згодом відмовитися від завантаження системи комп'ютера: у пам'яті комп'ютера, відключеного від живлення, зберігатиметься його останній стан. За допомогою програми програмного забезпечення комп'ютер можна буде ввімкнути і почати роботу з того місця, на якому вона була зупинена при вимкненні.



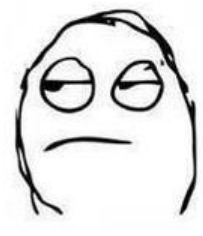
**BUSINESS STUDENT**



**MEDICAL STUDENT**



**ENGINEERING STUDENT**



Далі буде...

...Інтегральні мікросхеми