ЛЕКЦІЯ 1

Електроніка як наука *займається вивченням електронних явищ і процесів, пов'язаних зі зміною концентрації і переміщенням заряджених часток в різних середовищах* (у вакуумі, газах, рідинах, твердих тілах) *і умовах* (при різній температурі, під впливом електричних і магнітних полів).

Задачею **електроніки як галузі техніки** (*технічної електроніки*) *є розробка, виробництво і експлуатація електронних приладів і пристроїв самого різного призначення*.

Основні напрями, що характеризують сфери прикладення технічної електроніки: **зв'язок, радіоелектронна апаратура широкого споживання**, **промислова електроніка** (управління виробничими процесами, вимірювальна апаратура, пристрої електроживлення, промислове телебачення, автоматика, телеуправління, медична апаратура (діагностична, лікувальна, протезування і ін.), електротехнічне і енергетичне обладнання), **спеціальна техніка** (апаратура, що застосовується на транспорті, радіолокація і радіонавігація, інфрачервона техніка, обладнання космічних апаратів, оптичні квантові генератори, ультразвукова локація, ядерна електроніка, біологічна електроніка і т.д.), **обчислювальна техніка і технічна кібернетики** (електронні цифрові та аналогові обчислювальні машини, персональні мікрокомп'ютери, автоматизовані системи управління, автоматичні інформаційні системи, електронні навчальні і контролюючі машини і т.д.).

Все більш широкий розвиток отримує **мікроелектроніка** – *галузь електроніки, що займається мікромініатюризацією електронної апаратури з метою зменшення її об'єму, маси, вартості, підвищення надійності і економічності на основі комплексу конструктивних, технологічних і схемних методів.*

Основною елементною базою сучасних електронних пристроїв є напівпровідникові прилади. Клас напівпровідникових приладів складають діоди, біполярні і польові транзистори, тиристори і інші прилади, принцип дії яких заснований на електрофізичних процесах в напівпровідниках.

До напівпровідників відносяться чисельні матеріали, які за багатьма ознаками займають проміжне становище між провідниковими і діелектричними. Найбільше застосування в напівпровідниковій техніці отримали *кремній, германій, галій, селен* і такі хімічні сполуки, як *арсенід галію, карбід кремнію, сульфід кадмію* і т. д. Контролюючи електронні процеси – концентрацію, швидкість і напрям руху заряджених часток – за допомогою електричних і магнітних полів, можна, керувати електричним струмом в напівпровідникових приладах.

Оскільки будь-який напівпровідник має власну провідність, в ньому крім основних носіїв, є невелика частка неосновних. Інакше кажучи в напівпровіднику ***n****–типу є велика кількість вільних електронів (тут вони – основні носії) і невелика кількість дірок (неосновні носії), а в напівпровіднику* ***p****–типу – навпаки.*

<u>Властивості p-n переходу.</u>

В основі роботи сучасних напівпровідникових приладів лежать явища, що відбуваються в області електричного контакту провідників і напівпровідників із різною провідністю.

Найбільше розповсюдження в напівпровідниковій техніці і мікроелектроніці отримали контакти типу напівпровідник–напівпровідник.

Електричний перехід між двома областями напівпровідника, одна з яких має електропровідність ***n***–типу, а інша ***p***–типу, *називають електронно–дірковим*, або ***p-n*** переходом.

Електронно–дірковий перехід не можна створити простим дотиком пластин ***n***- і ***p***–типу, оскільки при цьому неминучий проміжний шар повітря, окислів або поверхневих забруднень. Ці переходи отримують сплавленням або дифузією відповідних домішок в пластинки монокристалу напівпровідника, а також шляхом вирощування ***p-n*** переходу із розплаву напівпровідника з регульованою кількістю домішок.

Внаслідок різної концентрації електронів в шарах ***p*** і ***n*** буде відбуватись їх дифузія з області ***n*** в область ***p***. Аналогічно буде відбуватись дифузія дірок з області ***p*** в область ***n***.

Завдяки дифузії основних носіїв порушується електрична нейтральність в напівпровіднику: область ***p*** здобуває від'ємний, а область ***n*** – додатний заряд. Між областями виникає електричне поле з різницею потенціалів близько 0,35 В у германієвому і 0,65 В у кремнієвому напівпровідниках. Ця різниця потенціалів – **потенціальний бар'єр** – вже перешкоджає дифузії основних носіїв, але для неосновних носіїв утворене поле є прискорюючим, внаслідок чого виникає рух електронів з ***p***-області в ***n***-область і рух дірок в протилежному напрямку.

Рух носіїв, зумовлений різницею концентрацій, називається **дифузійним струмом**, а рух носіїв під дією електричного поля – **дрейфовим струмом**.

Між дрейфовим і дифузійним струмами при певному потенціальному бар'єрі існує динамічна рівновага, так що сумарний струм через ***p-n*** перехід дорівнює **нулю**.

Ці явища відбуваються при утворені ***p-n*** переходу.

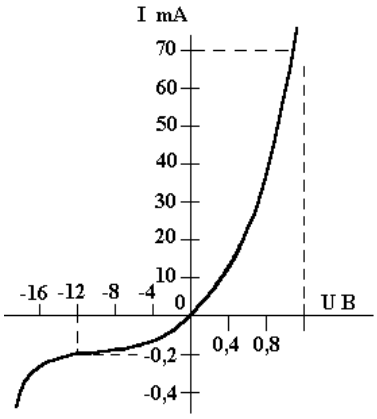
Розглянемо тепер явища, що відбуваються в ***p-n*** переході при підведені до нього зовнішнього електричного поля.

При підключені "+" до шару ***n***, а "–" до шару ***p*** (таке включення називається **зворотним**) зовнішня напруга буде діяти згідно з потенціальним бар'єром. Оскільки опір безпосередньо області переходу набагато більший іншої частини напівпровідника, то саме в зоні переходу потенціальний бар'єр збільшується на значення зовнішньої напруги.

В цьому випадку дифузійний перехід носіїв ще більш утруднюється і навіть при відносно невеликій зовнішній напрузі дорівнює нулю.

Значення же дрейфового струму від зовнішньої напруги не залежить і обмежується швидкістю генерації неосновних носіїв, яка визначається t°.

На рис. показана вольт–амперна характеристика (ВАХ) ***p-n*** переходу (**Звернути увагу на масштаби на осях !!!**).



При зворотному включені (ліва частина графіка) струм через перехід з'являється при подачі напруги і, досягнувши значення струму насичення, обумовленого дрейфом неосновних носіїв, залишається незмінним (≈ –0,2 mA). Однак при більших значеннях зворотної напруги рухомі електрони здобувають більші швидкості і, вдаряючись об атоми, викликають ударну іонізацію. Крім того, під дією сильного електричного поля частина електронів з валентної зони переходить в зону провідності. Ці процеси збільшуються лавиноподібно і призводить до різкого збільшення струму через ***p–n*** перехід – його **електричного пробою**. Внаслідок збільшення струму збільшується t°, енергія електронів збільшується, що в свою чергу полегшує їх перехід з валентної зони в зону провідності – виникає так званий **тепловий пробій**. Якщо не включити в коло ***p–n*** переходу обмежувальний опір, напівпровідник може перегрітись і вийти з ладу.

Отже ***p–n*** перехід має властивості **вентиля** – *в прямому напрямку опір його дуже малий, а в зворотному практично нескінчений.*

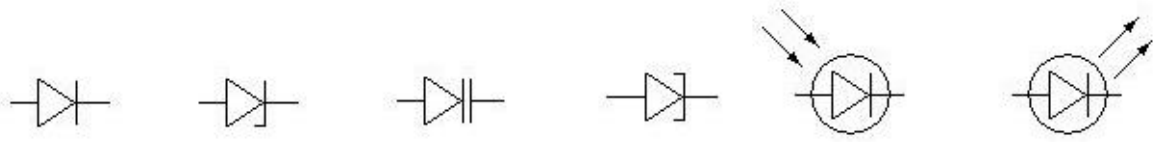
Напівпровідниковий діод і його застосування.

Напівпровідниковий діод

Напівпровідниковим діодом називається прилад, що має *один електроно-дірковий перехід.*

Найбільше застосування отримали германієві і кремнієві напівпровідникові діоди, а також діоди, виконані на основі арсеніду галію.

Сфера застосування напівпровідникових діодів: спрямляючі діоди використовуються в таких широко поширених пристроях, як випрямлячі змінного струму, що забезпечують електроживленням переважну більшість сучасних електронних схем (рис. 1). Широке поширення в сучасній напівпровідниковій техніці отримали кремнієві стабілітрони, призначені для стабілізації напруги (рис. 2), варикапи, у яких ємність ***p-n*** переходу змінюється при зміні підведеної до них напруги (рис. 3), тунельні діоди (що мають на вольт-амперній характеристиці ділянку з від'ємним опором) (рис. 4), швидкодіючі імпульсні діоди (для роботи в схемах з імпульсами мікросекундного і наносекундного діапазону), різноманітні діоди надвисокого частотного (НВЧ) діапазону (для роботи як модуляторів, змішувачів, дільників і множників частоти), фотодіоди, які реагують на світлове опромінення (рис. 5), світло діоди, призначені для безпосереднього перетворення електричної енергії в енергію світлового випромінення (рис. 6). Умовні графічні позначення напівпровідникових діодів:



1) 2) 3) 4) 5) 6)

Найважливішими достоїнствами напівпровідникових діодів є:

- малі габаритні розміри і маса;
- високий коефіцієнт корисної дії (понад 99 %);
- відсутність джерела електронів, яке треба розжарювати;
- практично необмежений термін служби (при виконанні відповідних правил експлуатації);
- висока надійність.

У залежності від способу отримання електроно-діркових переходів напівпровідникові діоди діляться на два типи: **точкові** і **площинні**.

В *точковому* діоді до кристалічного напівпровідника з одним типом провідності вплавляється кінець вольфрамової проволоки, на яку нанесений шар акцептора (якщо кристал має ***n***–провідність) або донора (якщо кристал ***p***–провідності). В процесі сплавлення атоми домішку з поверхні проволоки дифундують в кристал і в ньому утворюється ***p–n*** перехід.

Точкові діоди завдяки малій площі ***p–n*** переходу мають малу ємність, що зумовлює менше викривлення імпульсних сигналів (далі буде), і тому широко застосовуються у високочастотних схемах, зокрема в цифрових логічних і вимірювальних схемах.

В *площинних* діодах ***p–n*** перехід утворюється при наплавленні шматочку індію на германієвий або кремнієвий кристал з ***n***-провідністю. Використовуються площинні діоди головним чином в схемах випрямлячів.

Основною характеристикою напівпровідникових діодів є вольт-амперна характеристика (ВАХ). Очевидно, що графік вольт-амперної характеристики діода уявляє собою вольт-амперну характеристику ***p–n*** переходу.

Основні параметри діоду:

- Прямий струм, що відповідає вказаній напрузі (1 – 2 В);
- Допустима амплітуда зворотної напруги;
- Максимальна пробивна напруга;
- Зворотний струм, що відповідає вказаній зворотній напрузі.
- Максимально допустиме значення зворотної напруги;
- Зворотний струм при максимально допустимій зворотній напрузі;
- Середнє значення спрямленого струму;
- Падіння напруги при проходженні прямого струму.

За аналогією із радіоламповими діодами (попередниками напівпровідникових діодів), область приладу, з ***p***–провідністю називають ***анодом***, область, що має ***n***–провідність – ***катодом***.

Випрямляючі діоди

У випрямлячах змінної напруги найбільше застосування знаходять германієві і кремнієві напівпровідникові діоди.

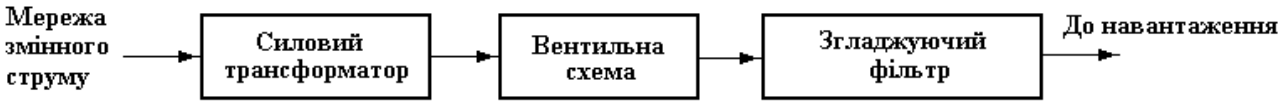
Робота напівпровідникового спрямляючого діода заснована на властивості ***p-n*** переходу пропускати струм тільки в одному напрямі.

На умовному позначенні діоду сторона трикутника, від якої є вивід, відповідає **аноду**, а протилежний їй кут – **катоду**. Аноду відповідає ***p***-область, а катоду – ***n***-область діоду.

Схеми випрямлячів.

Випрямляч – пристрій, призначений для забезпечення живлення споживачів постійного струму від джерела змінного струму.

Структурна схема випрямляча має вигляд:



Випрямляч в більшості випадків складається з таких елементів:

- ***силовий трансформатор***, який забезпечує підвищення або зниження напруги мережі змінного струму до потрібної величини;
- ***вентильна схема***, складається з одного або кількох ***вентилів***, що мають односторонню провідність струму і що виконують основну функцію випрямляча – перетворення змінного струму в пульсуючий;
- ***згладжуючий фільтр***, який зменшує пульсацію спрямленого струму.

В схему випрямляча, крім цих основних елементів, можуть входити різні *допоміжні пристрої*, призначені для *регулювання спрямленої напруги, включення і виключення випрямляча, захисту випрямляча від пошкодження при порушення нормального режиму роботи, контрольно–вимірювальні прилади* і т.п.

Класифікуються випрямлячі за числом фаз змінного струму мережі живлення, за типом вентилів, за схемою їх включення та за ін. показниками.

Випрямлячі, що працюють від однофазної мережі змінного струму, називаються ***однофазними***. Вони поділяються на:

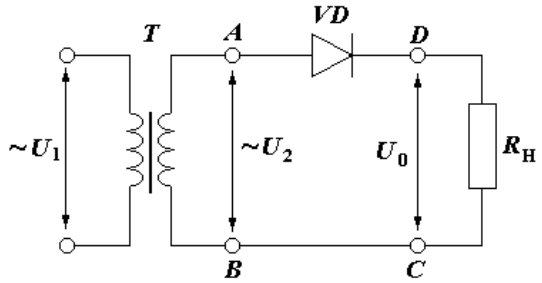
- ***однопівперіодні***, в яких струм через навантаження проходить тільки протягом одного півперіоду за період зміни напруги мережі;
- ***двопівперіодні***, в яких струм через навантаження проходить протягом обох півперіодів за період зміни напруги мережі.

Розрізняють ***однотактні*** (в яких струм через вторинну обмотку трансформатора проходить тільки протягом одного півперіоду за період зміни напруги мережі) і ***двотактні*** (в яких струм через вторинну обмотку трансформатора проходить протягом обох півперіодів за період зміни напруги мережі).

Виокремлюють ще ***схеми з множенням напруги***, які використовуються для підвищення спрямленої напруги на навантаженні при заданій напрузі на вторинній обмотці трансформатора або при відсутності підвищуючого трансформатора.

Найпростіший випрямляч складається з трансформатора і електронного приладу, що має односторонню провідність – вентиля.

Резистор $R_н$ являє собою навантаження. Як вентиль може бути використаний діод ***VD***. Трансформатор ***T*** перетворює напругу мережі у відповідності з потрібним значенням постійної напруги.



Коли до діода надходить півхвиля додатної полярності (на аноді – "+", на катоді – "–"), висота потенціального бар'єру переходу знижується (кажуть ***p-n*** перехід **зміщується в прямому напрямку**), носії зарядів – дірки із ***p***-області і електрони із ***n***-області легко долають цей бар'єр і забезпечують протікання **прямого струму** в колі ($i_{пр}$). При цьому на навантаженні $R_н$ утворюється напруга у вигляді додатних півхвиль.

При появі на діоді від'ємної півхвилі (на аноді – "–", на катоді – "+ ") сумарне електричне поле на ***p-n*** переході (потенціальний бар'єр і зовнішня напруга) збільшується, що перешкоджає проходженню зарядів через ***p-n*** перехід. Струм в навантаженні дорівнюватиме незначному **зворотному струму** ($i_{зв}$), зумовленого дрейфовим струмом через ***p-n*** перехід, а напруга на навантаженні буде близькою до нуля.

Отже, завдяки односторонній провідності струм через вентиль і навантаження проходить тільки в тій частині періоду, коли полярність напруги відповідає прямій напрузі діода. Тому наведена схема отримала назву **однопівперіодна**. Під час другого півперіоду струм через навантаження не проходить (див. час. діаграму).

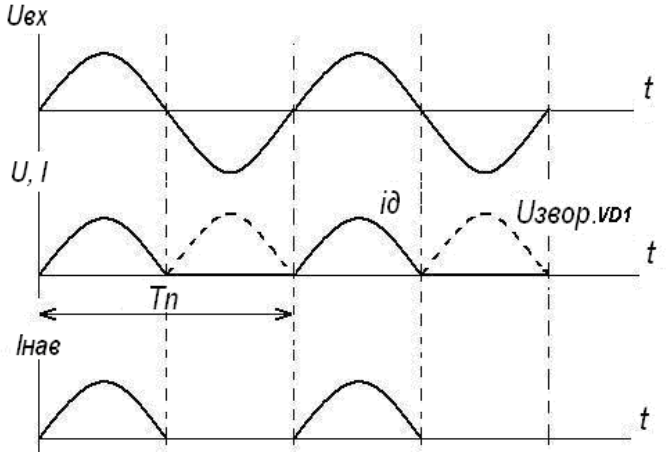
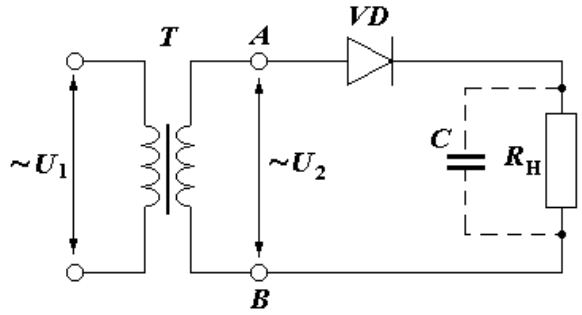


Рис. Часові діаграми роботи однопівперіодного випрямляча

Таким чином, спрямлений струм уявляє собою імпульси синусоїдальної форми, тривалість яких дорівнює половині періоду підведеної змінної напруги.

Якщо використовуючи математичні прийоми розкласти періодичну (імпульсну) функцію в нескінчений тригонометричний ряд ($f(t) = a_0 + a_1\sin(\omega t) + a_2\sin(2\omega t) + \ldots$), то можна побачити, що такі імпульси мають не тільки постійну складову (a_0), але і гармоніки (1-а гармоніка – $a_1\sin(\omega t)$, 2-а гармоніка – $a_2\sin(2\omega t)$ і так далі до нескінченності).

Для наведеної схеми спрямовувача: постійна складова – 32% від амплітуди напруги живлення; амплітуда першої гармоніки – 50%; другої – 20%.
Для того, щоб через навантаження проходила тільки постійна складова імпульсного струму паралельно навантаженню включають **згладжуючий фільтр**, який має незначний опір для гармонік і великий опір для постійної складової. Найпростіший фільтр є конденсатор.



Під час прямої напруги конденсатор заряджається, а під час зворотної для вентиля напруги – розряджаючись живить навантаження. Треба мати на увазі, що в цей час діод знаходиться під дією не тільки зворотної напруги, а ще й під напругою від конденсатора, тобто максимально можлива зворотна напруга на вентилі дорівнює подвійній напрузі живлення. Це необхідно враховувати при виборі вентиля з тим, щоб не допустити його пробою при зворотній напрузі на трансформаторі.

Основні характеристики малопотужного випрямляча:

- значення спрямленої напруги;
- допустимий струм навантаження;
- **коефіцієнт пульсацій** – відношення амплітуди першої гармоніки до постійної складової $k_п = U_m^{(1)}/U_0$.

Чим менший $k_п$, тим менша доля змінної напруги на навантаженні.

Для однопівперіодного випрямляча без фільтра:

$U_m^{(1)} = 0{,}5U$; $U_0 = 0{,}32U$; $k_п = 0{,}5U / 0{,}32U = 1{,}56$.

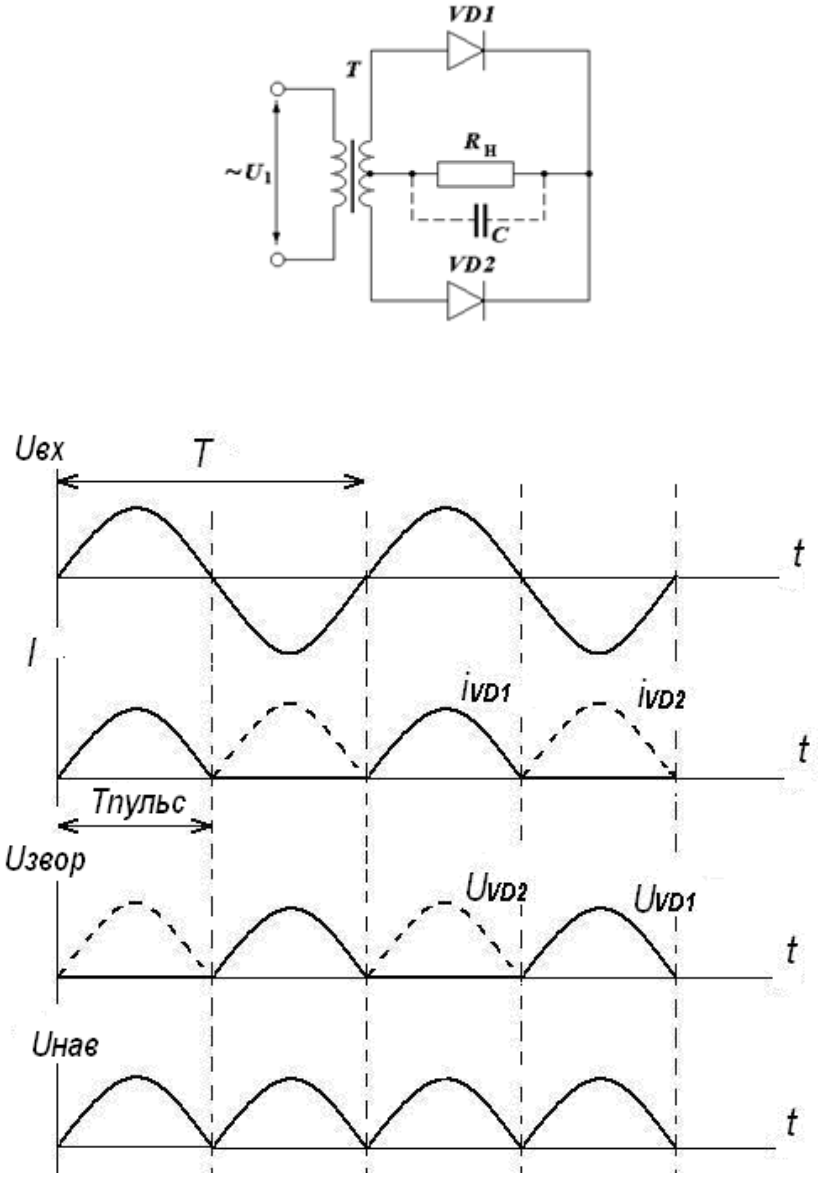


Рис. Часові діаграми роботи двопівперіодного випрямляча

Значно менший коефіцієнт пульсацій (0,48) має двопівперіодна схема. В цій схемі струм через навантаження проходить під час обох півперіодів. Під час одного півперіоду працює один діод, а під час другого – інший. Значення постійної складової становить 64% від амплітуди напруги на одній половині вторинної обмотки трансформатора, амплітуда першої гармоніки – 30%.

Значення ємності згладжую чого конденсатору можна отримати з виразів:

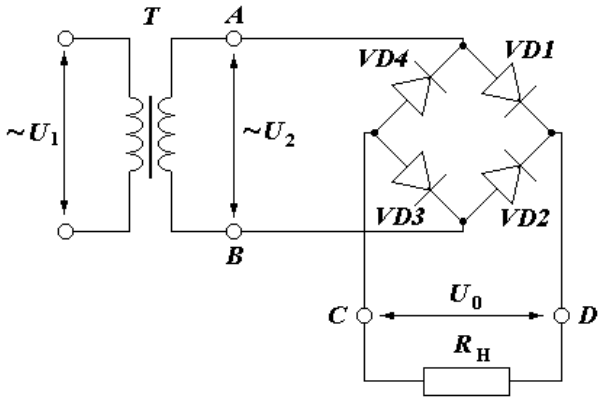
для однопівперіодної схеми – $\boldsymbol{C} = 200 / (\omega_1 \cdot \boldsymbol{R}_н \cdot \boldsymbol{k}_п)$ [Ф];

для двопівперіодної схеми – $\boldsymbol{C} = 100 / (\omega_1 \cdot \boldsymbol{R}_н \cdot \boldsymbol{k}_п)$ [Ф], де ω_1 – кругова частота першої гармоніки [1/сек.].

Оскільки в двопівперіодній схемі кругова частота першої гармоніки вдвічі більша ніж в однопівперіодній, необхідна ємність конденсатора в другому випадку буде в 4 рази менша ніж у першому.

При вимозі отримати малі коефіцієнти пульсації значення ємності, отримані за наведеними формулами можуть виявитись настільки великими, що практично реалізувати їх неможливо. В цих випадках використовують складніші фільтри, що містять *RC*- або *LC*-елементи.

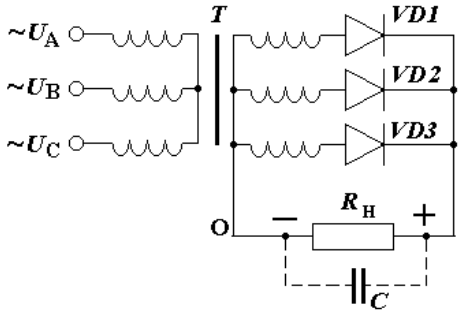
Велике розповсюдження отримала **мостова схема випрямляча**.



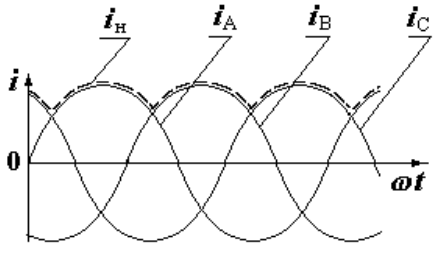
Діоди ***VD1*** – ***VD2*** утворюють плечі електричного мосту, в діагоналі якого включені вторинна обмотка трансформатора і навантаження. Форма струму на навантаженні така ж як у двопівперіодній схемі, але ця схема має деякі переваги:

- загальне число витків вторинної обмотки трансформатора вдвічі менше і не потребує виводу від середини вторинної обмотки. Трансформатор буде менший за розміром і простіший за конструкцією.
- зворотна напруга прикладена до двох послідовно з'єднаних діодів, тому значення її на кожному діоді буде вдвічі менша.

Схема трифазного однопівперіодного випрямляча має вид:



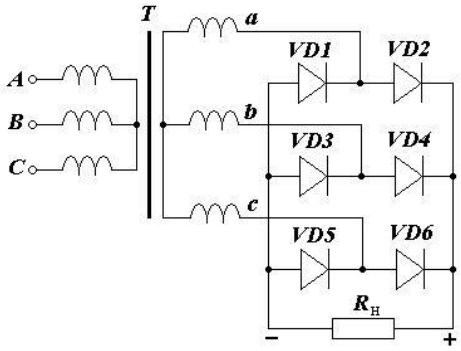
Первинна обмотка (три її секції) з'єднані за схемою "зірка" або "трикутник". Секції вторинної (вентильної) обмотки з'єднані за схемою "зірка" з виводом від спільної точки кінців секцій О.



Випрямляч називається однопівперіодним тому, що кожний з фазних струмів проходить на протязі одного півперіоду за період через вентиль і навантаження. Кожний з вентилів відкривається тоді, коли напруга на його аноді стає більша від напруги на інших фазах.

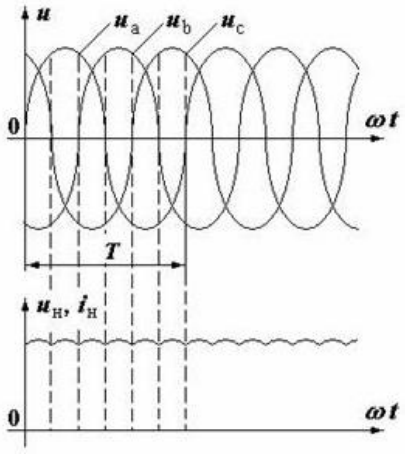
Трифазні випрямлячі мають менший коефіцієнт пульсацій в порівнянні з однофазними, а частота пульсацій значно вища ніж у однофазних. Це полегшує їх згладжування.

При достатньо великій потужності постійного струму в навантаженні $R_н$ перевага віддається *двопівперіодним трифазним схемам випрямлячів*, зокрема широко використовується *схема Ларіонова*, що показана на рисунку. Такі схеми відзначаються більш повним використанням потужності трансформатора.



В наведеній схемі під час одного півперіоду зміни напруги у фазі струм проходить через один з пари діодів, приєднаних до обмотки трансформатора, під час другого – інший як і у однофазній мостовій схемі випрямляча. Цей випрямляч можна уявити як два одночасно працюючих трифазних однопівперіодних випрямляча, а напругу на навантаженні – сумою спрямлених напруг цих двох випрямлячів.

Зміни напруги і струму в трифазному двопівперіодному випрямлячі показані на графіках:

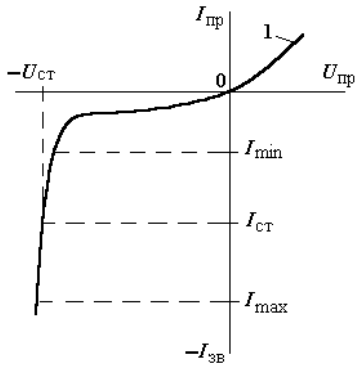


Значення напруги на навантаженні близьке до максимального значення лінійної вторинної напруги трансформатора, а пульсація ще більш зменшена, так як пульсації складових напруг зсунуті одна відносно іншої і максимум однієї складової співпадає у часі з мінімумом іншої. Пульсації, таким чином, добре згладжені і дорівнюють всього 5% від

значення постійної складової ($k_п$ = 0,05).

Стабілітрони.

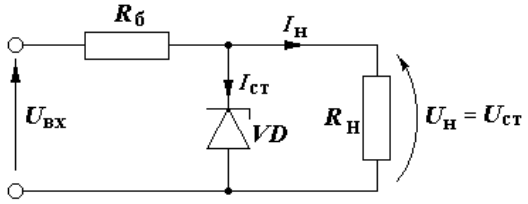
Стабілітрони – різновид діодів, призначених для стабілізації напруги. Принцип стабілізації полягає в тому, що ***p*** і ***n*** області мають підвищений вміст домішок, що зумовлює тонкий і яскраво виражений ***p***–***n*** перехід, в якому швидко розвивається і встановлюється електричний пробій. Пробій настає при порівняно низькій і приблизно постійній (для кожного типу стабілітрону) зворотній напрузі.



Типова вольт-амперна характеристика (ВАХ) стабілітрона:

Прямий струм (1) в залежності від напруги змінюється, як у будь-якого діода, за експоненціальним законом. Вітка зворотного струму характеризує зворотний режим стабілітрону.

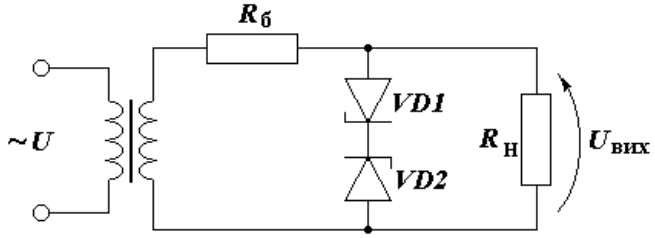
Робочою ділянкою стабілізації є діапазон зміни зворотного струму від I_{min} до I_{max}. Зміна струму виникає при напрузі $U_{ст}$, що мало залежить від струму пробою.



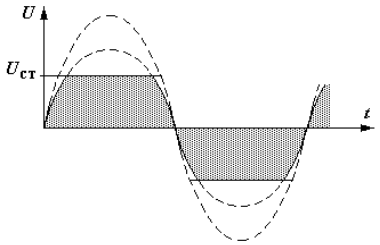
В схемі стабілізації стабілітрон включається в зворотному напрямку паралельно навантаженню. Послідовно стабілітрону і навантаженню включений баластний (обмежувальний) опір $R_б$. На цьому резисторі сумується падіння напруги, зумовлені струмами $I_{ст}$ і $I_н$. Опір резистора $R_б$ для вибраного режиму стабілізації визначається:

$$U_н + (I_{ст} + I_н)\cdot R_б = U_{вх} \quad \rightarrow \quad R_б = (U_{вх} - U_н) / (I_{ст} + I_н)$$

Наведемо одну з можливих схем стабілізації змінної напруги:



Напруга мережі через трансформатор надходить в схему, що складається з резистора $R_б$ і зустрічно включених стабілітронів ***VD1*** і ***VD2***. В результаті цього на виході отримується напруга $U_{вих}$ трапецеїдальної форми. При зміні величини вхідної напруги амплітуда вихідної напруги залишається незмінною, а діюче значення змінюється незначно за рахунок деякої зміни площі трапеції.



Варикап.

Варикапи – напівпровідникові діоди, в яких використовується бар'єрна ємність закритого ***p–n*** переходу, яка залежить від величини прикладеної до діода зворотної напруги.

При зворотній напрузі потенціальний бар'єр і внутрішнє електричне поле збільшується. Зовнішня зворотна напруга виштовхує електрони в товщу ***n***–області, а дірки – в товщу ***p***–області від зони ***p–n*** переходу. В результаті розширюється область ***p–n*** переходу тим більше, чим вища зворотна напруга. Отже бар'єрна ємність зменшується.

Основне застосування варикапу – електронна настройка коливальних контурів.

Приклади схем включення:

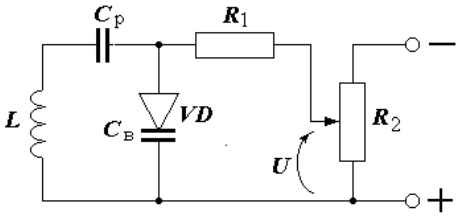


Схема А). Коливальний контур, утворений індуктивністю ***L*** ємністю варикапу $C_в$. Конденсатор $C_р$ включений в схему для запобігання закорочування варикапа по постійному струму індуктивністю ***L***. $C_р > C_в$ в кілька десятків разів. Керуюча постійна напруга ***U*** подається на варикап з потенціометру R_2 через високоомний резистор R_1. перенастройка контуру здійснюється потенціометром R_2.

Недолік такої схеми – напруга високої частоти впливає на варикап, змінюючи його ємність. Це призводить до розстроювання контуру.

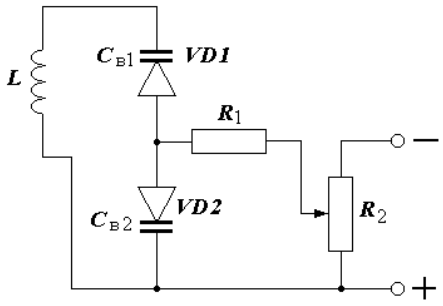


Схема Б). Варикапи включені по високій частоті послідовно зустрічно. Тому при будь-якій зміні напруги на контурі ємність одного варикапа збільшується, а другого зменшується. По постійній напрузі варикапи включені паралельно.

Тунельний та інші види діодів.

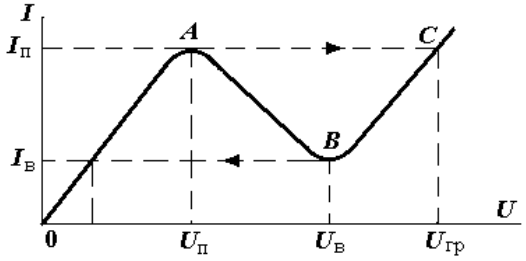
Тунельні діоди – це напівпровідникові діоди, в яких використовується тунельний механізм переносу носіїв заряду через ***p–n*** перехід і на ВАХ яких є область від'ємного диференціального опору (область ***A***–***B***), тобто на деякій ділянці при збільшенні напруги зменшується струм і навпаки.

Основні параметри тунельного діоду:

- струм максимуму – піковий струм, що відповідає максимуму на ВАХ ($I_п$);
- напруга максимуму ($U_п$);
- струм мінімумі ($I_в$);
- напруга мінімуму ($U_в$). Звичайно точку з координатами ($U_п$, $I_п$) називають вершиною характеристики (піком), а точку з координатами ($U_в$, $I_в$) – впадиною.
- найбільша напруга перемикання ($U_{гр}$) – напруга, що відповідає струму максимуму на другій висхідній вітці характеристики;
- максимальна напруга перемикання (напруга стрибка) при переході з першої висхідної вітки на другу $\Delta U = U_{гр} - U_п$;

При подачі змінного сигналу струм в колі діода в залежності від полярності сигналу збільшується або зменшується. При збільшенні струму ($I > I_п$) напруга на діоді стрибком змінюється з $U_п$ на $U_{гр}$ (↥), а при подальшому зменшенні струму напруга буде зменшуватись до $U_в$ і далі стрибком зменшиться до відповідної напруги на першій висхідній вітці ВАХ (↧).

Отже при певних умовах залежність між струмом і напругою на тунельному діоді відповідатиме вітці **0**–***A*** або ***B***–***C***, що дозволяє розглядати цей діод як прилад з двома стійкими станами.



Використовується тунельний діод в цифрових схемах (в схемах тригерів, запам'ятовуючих і логічних елементах, тощо).

Випромінюючі діоди (світлодіоди) є напівпровідникові діоди, в яких електрична енергія перетворюється в світлову (потік квантів світла). При зустрічі електронів і дірок їх заряди компенсуються (рекомбінують) і ці носії зарядів зникають. При рекомбінації виділяється енергія. У деяких напівпровідників на основі карбіду кремнію (SiC), галію (Ga), миш'яку (As) рекомбінація є випромінювальною і супроводжується випромінюванням в інфрачервоній, видимій або ультрафіолетовій частинах спектру. Найбільше розповсюдження мають світлодіоди з жовтим, червоним, зеленим кольором випромінювання. Створені зразки з перенастройкою кольору світіння.

Фотодіод являє собою напівпровідниковий діод, зворотний струм якого залежить від освітленості ***p-n*** переходу. Фотодіод поєднує в собі достоїнства напівпровідникових приладів (малі маса і розміри, великий термін служби, низькі живильні напруги, економічність) з більш високою чутливістю в порівнянні з електровакуумними фотоелементами і фоторезисторами.

Фотодіод виконаний так, що його ***p-n*** перехід однією стороною звернений до скляного вікна, через яке надходить світло, і захищений від впливу світла з інших сторін.

При освітленні фотодіода з'являється додаткове число електронів і дірок, внаслідок чого збільшується перехід неосновних носіїв заряду: електронів з ***p***-області в ***n***-область і дірок в зворотному напрямі. Це призводить до збільшення струму в колі.

Фотодіод можна включати в схеми, як із зовнішнім джерелом живлення, так і без нього. Режим роботи фотодіода із зовнішнім джерелом живлення називають фотодіодним, а без зовнішнього джерела – вентильним.

У вентильному режимі у фотодіоді під дією світлового потоку виникає ЕРС, тому він не потребує стороннього джерела напруги.

Фотодіоди, як і приймачі променистої енергії інших типів (фотоелементи, фоторезистори, фотопомножовучі), знаходять широке застосування. Вони можуть використовуватися в фотометрії, фотоколометрії, для контролю джерел світла, вимірювання інтенсивності освітлення, прозорості середи, реєстрації і рахунку ядерних часток, автоматичного регулювання в контролі температури і інших параметрів, зміна яких супроводжується зміною оптичних властивостей речовини або середи.