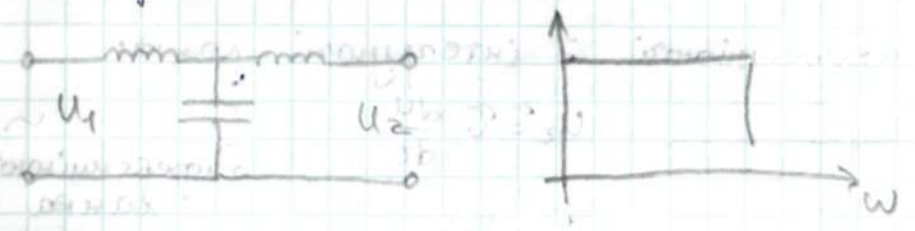


Фільтри



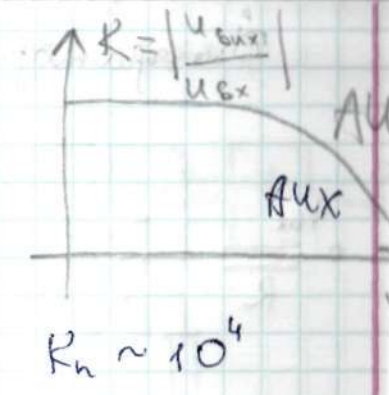
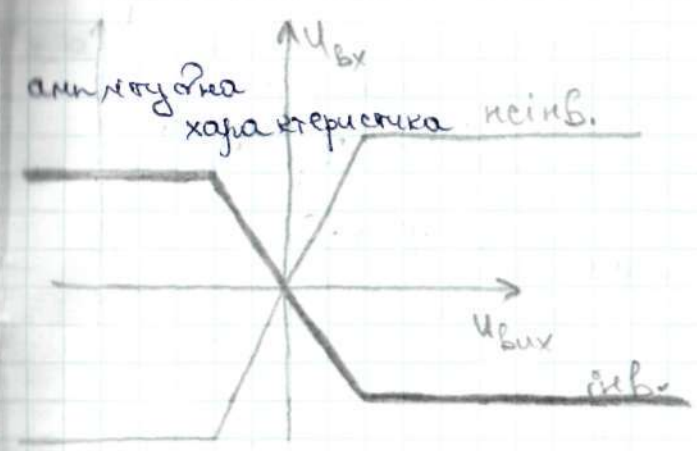
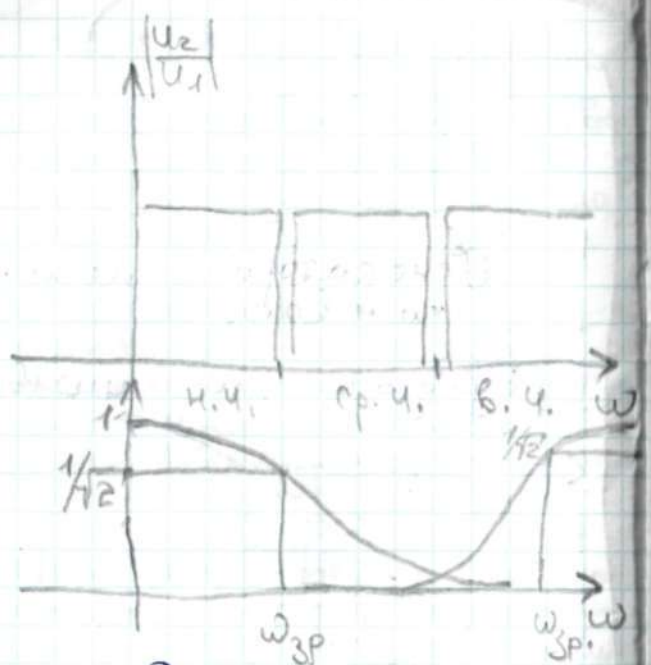
Фільтри є:
 • активні (нааявність підсилювача)
 • пасивні

Фільтри низьких частот

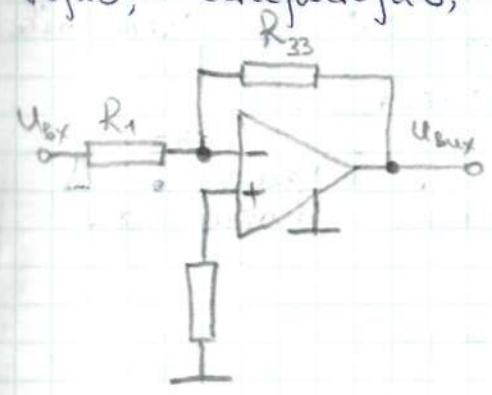


Операційні підсилювачі

ОП наз. підсилювачі постійного струму з зовнішнім коэф. підсилення, який має два входи і один вихід. Один із входів "-" - інвертуючий, "+" - неінвертуючий

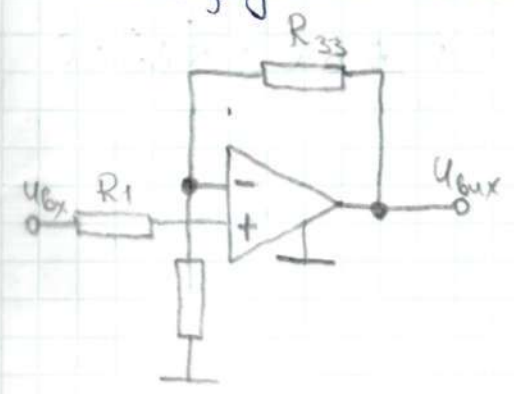


ОП викор. для побудови інвертуючих і неінверт. підсилювачів, а також інтеграторів, генераторів, детекторів та ін.



інвертуючий підсилювач на ОП
 $K_n = - \frac{R_{33}}{R_1}$ R_{33} - опір звор. зв.

Неінвертуючий підсилювач на ОП



$$K_n = 1 + \frac{R_{33}}{R_1}$$

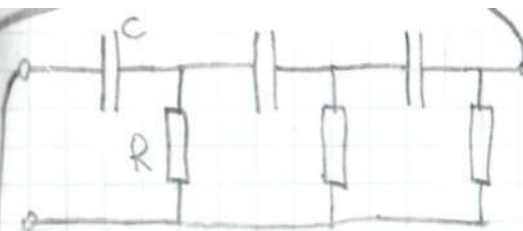
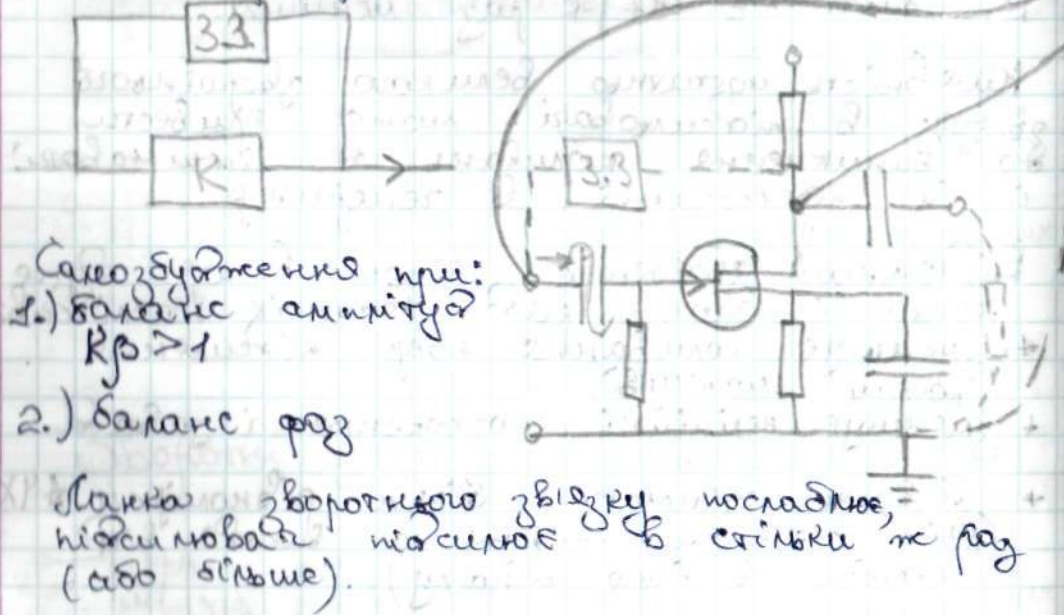
Генератори гармонічних коливань

Генератор коливань - це пристрій, що перетворює сл. енергію Джерела пост. струму в енергію незатухаючих сл. коливань потрібної форми, частоти і потужності.

- Генератори бувають:
- із самозбудженням (автогенератори)
 - із зовнішнім збудженням, які є по суті підсилювачами потужності високих частот.
 - гармонічних синусоїдальних коливань
 - релаксаційні (імпульсні) (негармонічних)

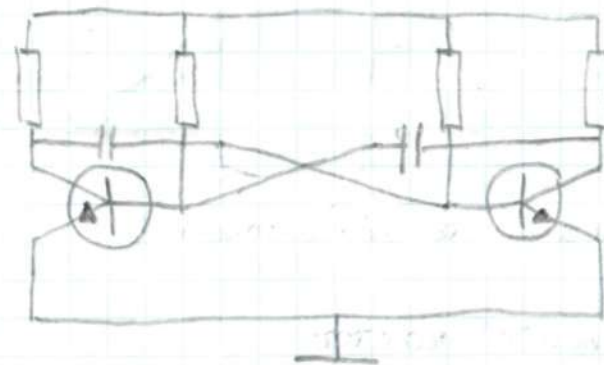
Генератор містить підсилювач і коливну систему, які пов'язані між собою за допомогою ланки зворотного зв'язку. При побудові синусоїдальних коливань використовують схеми RC- і LC-генератори.

RC - генератори - для низькочастотних
LC - генератори - для високочастотних коливань

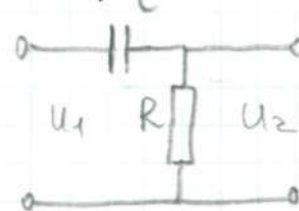


Генератори несинусоїдальних коливань

будують на мультивібраторі



Диференціюючі й інтегруючі ланки

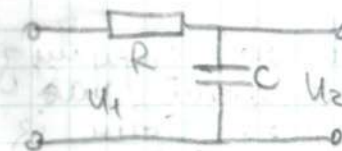


$$U_2 \approx \tau \frac{dU_1}{dt}$$

- диференціююча ланка

$$\tau = RC$$

$$\omega RC \ll 1$$



$$U_2 \approx \frac{1}{\tau} \int U_1 dt$$

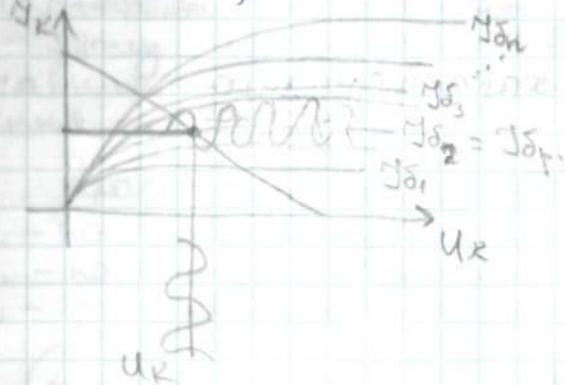
$$\omega \tau \gg 1$$

- інтегруюча ланка

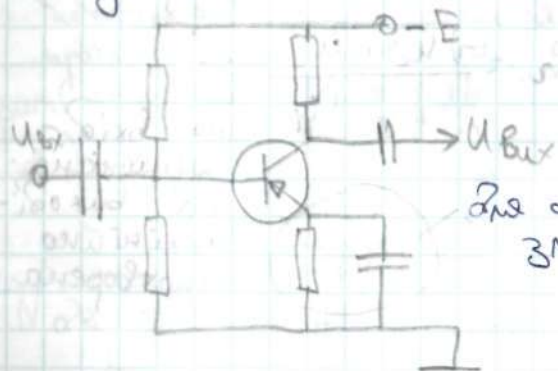
Зміна вхідного струму (струму бази) приводить до зміни струму колектора, а це в свою чергу приводить до зміни напруги колектора відносно емітера

$$U_{вих.} = U_K = E_K - I_K R_K$$

На вхідній характеристиці $I_{ф.}$ - струм бази в робочій точці

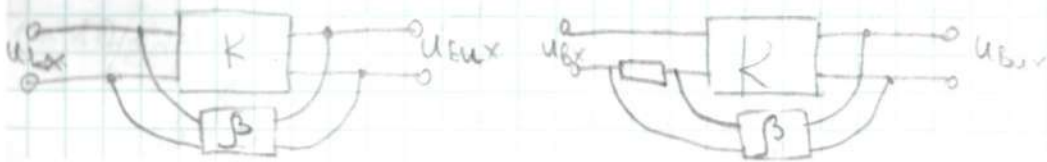


Будова підсилювачів



Для стабілізації температурних змін транзистора

Зворотні зв'язки в підсилювачах



Використовуються зворотні зв'язки для стабілізації роботи підсилювача

$$K_n = \frac{K}{1 - (\pm K\beta)}$$

$$\beta = 0 \div +1$$

$$\beta = 0 \div -1$$

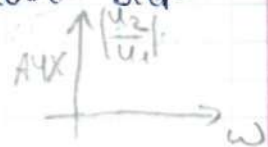
Якщо ланка зворотнього зв'язку подає сигнал у фазі вхідного сигналу, то це додатний зворотній зв'язок; якщо у протифазі - від'ємний. β - коефіцієнт передачі ланки звор. зв.

- ⊕ Коли ланка з додатним звор. зв'язком, то $K_n \uparrow$ в порівнянні з K . Коли ланка з зворотнім зв'язком, $K_n \uparrow$ в $1 - \beta K$ раз.
- ⊖ Коли ланка з від'ємним зв'язком, то K_n буде в $1 + \beta K$ раз меншим.

Наявність достатньо великого зворотнього зв'язку в підсилювачі може привести до виникнення коливань в підсилювачі і він перетвориться в генератор.

Від'ємний зворотній зв'язок викор. дуже часто і має ряд додатних наслідків:

- + зменшує коливання коэф. підсилення ланки (можливі)
- + зменшує нелінійні спотворення і завади
- + дозволяє отримати більш рівномірну АЧХ (АЧХ - залежність напруги на виході від частоти вхідного сигналу).



- Висока щільність розміщення елементів при інтегральному виконанні.

Підсилювачі

Сучасна електр. техніка дозволяє за допомогою невеликих затрат енергій керувати значними енергіями значно більшого рівня. Класовим випадком управл. енергією, в якому процес управління є неперервним, мавшим і одностороннім, є процес підсилення.

Класифікація підсилювачів:

1. - по характеру сигналів
2. - по широті частот
3. - за призначенням

(1. - гармонічні сигнали і імпульсні сигн.)
 (2. - підсилювачі постійного струму, змінного струму в деякому частотному діапазоні; підсилювачі високої частоти; підсил. проміжної частоти; відеопідсилювачі (еріа. низьких частот))

1.) Коефіцієнт підсилення

K [раз]

$$N_{дБ} = 20 \lg \frac{U_1}{U_2}$$

$$10_{дБ} = 20 \lg \left(\frac{U_1}{U_2} \right) \quad "K"$$

$$1 = 10/20 \lg K$$

$$K = \sqrt{10}$$

$$10_{дБ} = \sqrt{10}$$

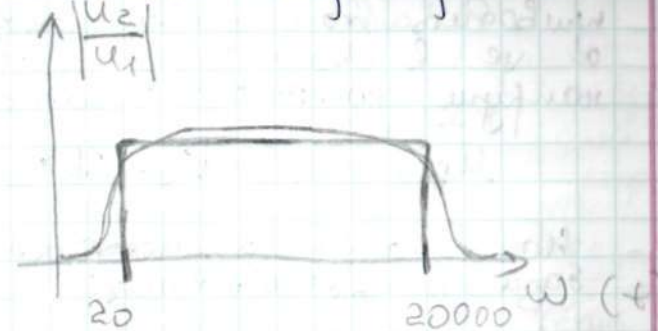
$$20_{дБ} = 10$$

$$30_{дБ} = 10^{3/2}$$

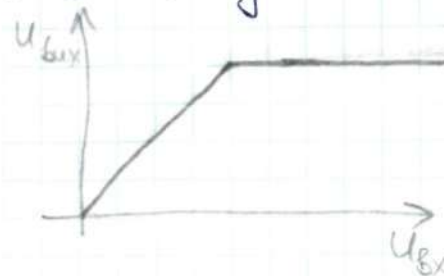
$$40 = 10^2$$

$$60 = 10^3$$

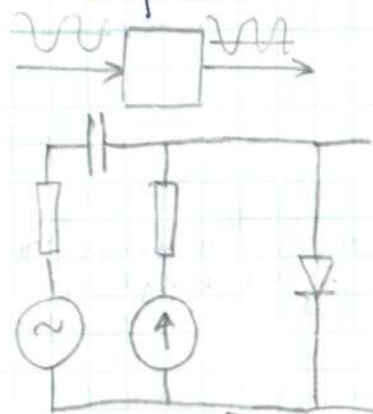
2. Амплітудно-частотна характеристика



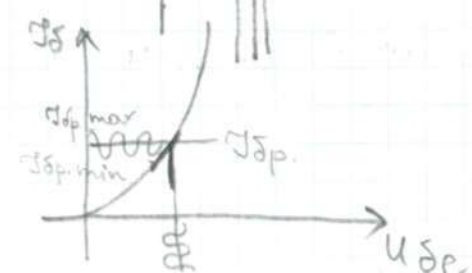
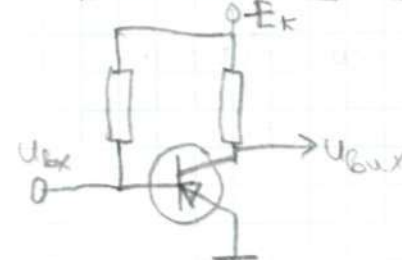
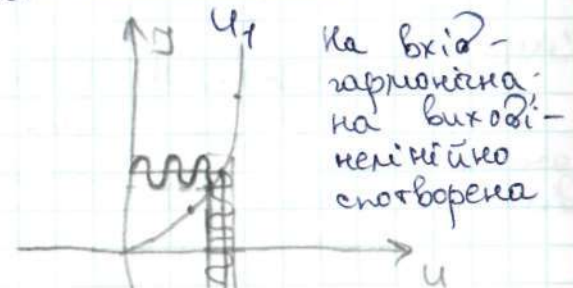
3. Амплітудна характеристика



4. Коефіцієнт гармонік (нелінійні спотворення)



$$K_n = \sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots}$$



Крім цих параметрів, транзистор характеризується

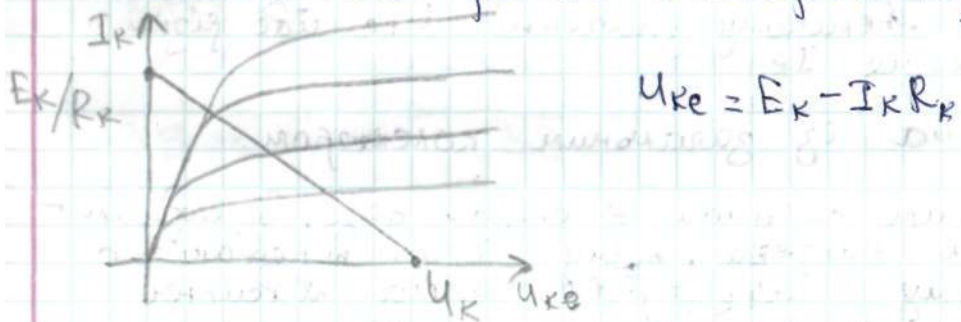
I_{C0} - зворотній струм колектора; струм, який тече через колекторний р-п перехід при розімкненому колі емітера. Цей струм I_{C0} менший, ніж у транзистор елімітований. При зміні температури на 10° I_{C0} зростає в 2 рази. При нормальній температурі $I_{C0} \approx 1 \text{ нА}$.

f_L, f_H - граничні частоти підсилення по струму частот, при якій β та A зменшуються в $\sqrt{2}$ раз.

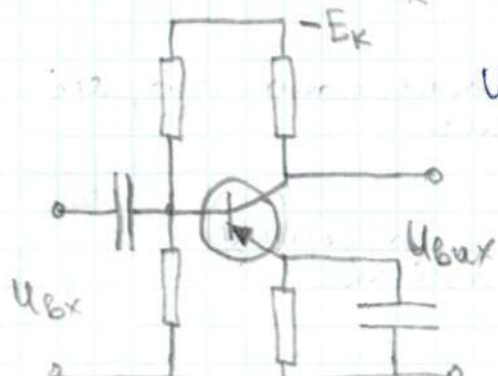
C_K - ємність колекторного переходу. Ємність між колектором і базою при розімкненому колі емітера (емітерний перехід розімкнений).

$P_{Kdн.}$ - допустима потужність, яка може розсіюватися на колекторі.

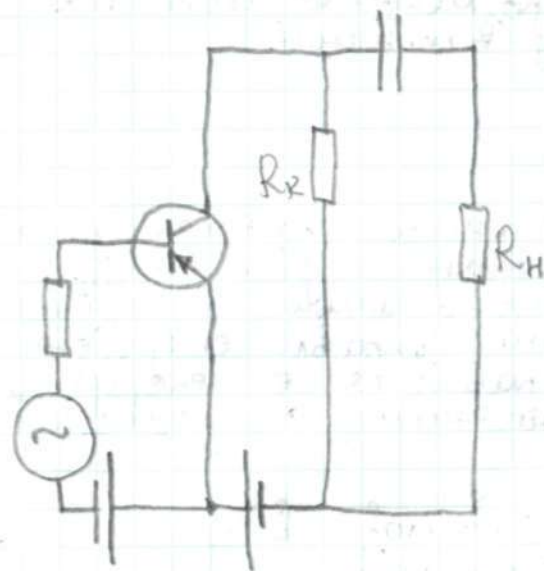
Динамічний режим біполярного транз.



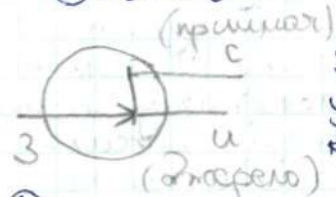
$$U_{Ке} = E_K - I_K R_K$$



$$U_{Ке} = E_K - I_K R_K = U_{вх}$$



Польові транзистори



Польовий транз. - це прилад, у якому вихідний струм керується вхідною напругою.

Технолог. - конструктивно польові транз. ділять

1. - польові транз. з р-п-переходами (каналні або уніполярні)
2. - польові транз. зольованим затвором (МДП або МОП транзистори)

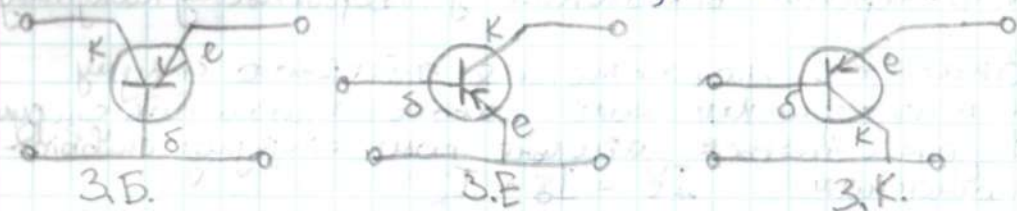
Переваги: 1. - великий вхідний опр. $10^6 \sim 10^9 \text{ Ом}$, 2. - $10^{13} \sim 10^{15} \text{ Ом}$

- малий рівень власних шумів
- стійкість проти температурних і радіаційних впливів

Якщо напруга в колі емітера змінюється в часі, то за законом зб зміни будувально ватися всі струми транзистора, а отже, і напруги на опорі навантаження, який повинен включити в коло колектор-база. Щобто зміна струму вхідного кола викликає синхронну зміну струму в вихідному колі.

Оскільки емітерний р-п-перехід включений в пряму напругу, а колекторний у зворотньому, вхідна напруга впливає на колекторний струм значно сильніше, ніж вихідка. На цьому ґрунтується підсилювальна дія транзистора. Робота зр р-п-р, так і п-р-п транз. є однаковою тільки відрізняється напрямом підключення напруги.

Схеми включення транзистора



$$I_{\text{вх}} = f(U_{\text{вх}}) \Big|_{U_{\text{вх}} = \text{const}}$$

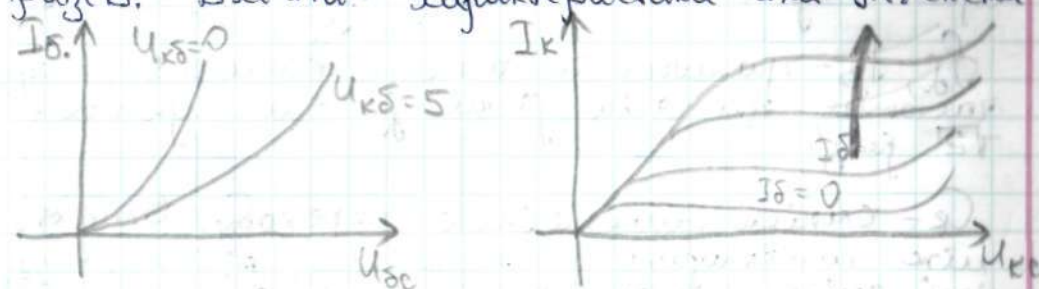
$$I_{\text{вх}} = f(U_{\text{вх}}) \Big|_{U_{\text{вх}} = \text{const}}$$

Схема з загальною базою

Викор. для підсилення напруги і потужності, але схема не підсилює струму. Вихідним є струм колектора $I_K = 0,95 \div 0,99 I_E$

Схема з загальним емітером

Застос. найчастіше. Вхідним є струм бази, вихідним - струм колектора. Коэф. передачі по струму познач. $\beta = I_K / I_B \approx 50$. В схемі з з.е. можна отримати коэф. підсил. по струму в декілька десятків разів. Вхідні характеристики для цієї схеми



При малих напругах на колекторі $\approx 0,2-0,3 \text{ В}$ I_K не залежить від струму бази. Це область насичення (характеристика зливається в одну лінію). При збільшенні напруги характеристика зростає \uparrow .

При великому значенні $U_{ке}$ іде різке зростання I_K .

Схема із загальним колектором

Вхідним струмом є струм бази, вихідним - струм емітера, тому коэф. передачі по струму $\beta_{21K} = \beta + 1$. Схема підсилює також потужність.

Їхні параметри потужності, які характеризують транзистор

h_{11} - вхідний опір

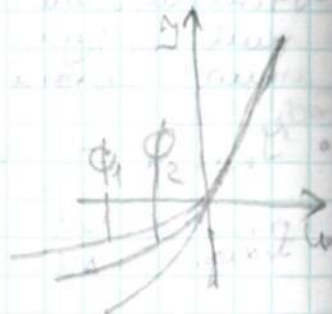
h_{21} - коэф. підсилення по струму

h_{22} - вихідна провідність

- Фотодіоди - фотогальванічний чиймак світлової енергії без внутрішнього підсилення

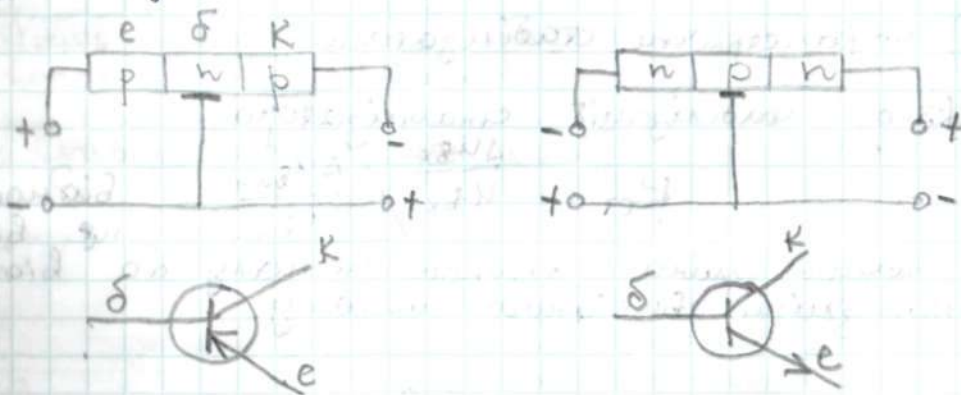


- Світлодіоди



Біполярний транзистор

Біполярні транзистори є активними напівпровідниковими приладами, які здатні підсилювати потужності ел. сигналів. Біотранзистор складається з трьох шарів напівпровідників різної провідності.



В залежності від матеріалу, транзистори бувають германієві і кремнієві. Системи позначень:

1 - перший символ вказує на матеріал:
 германієвий Г (1)
 кремнієвий К (2)

2 - Т - біполярні
 П - полеві

3 - цифра, що вказує на функціональні потужності транзистора:

- 1 - низькочастотний, $f < 3 \text{ МГц}$, з потужністю розсіювання 0,3 Вт
- 2 - середня частота $f < 30 \text{ МГц}$ - "
- 3 - $f > 30 \text{ МГц}$ для тих самих потужностей

1, 2, 3 - транзистори малої потужності
 4, 5, 6 - потужність розсіювання 0,3 - 1,5 Вт
 7, 8, 9 - високої потужності, більше 1,5 Вт
 (номери по частотах, від низької до високої)

4 - різновид транзистора (останні цифри і позначення)

p-n - перехід вкритий у прямому напрямку
 n-p - перехід вкритий у зворотньому напрямку

Внаслідок проходження емітерного струму в колекторному колі також проходить струм і замикається загальне коло струму співвідношенням $I_e = I_b + I_k$

$$U_1 = h_{11} I_1 + h_{12} U_2$$

$$I_2 = h_{21} I_1 + h_{22} U_2$$

h_{ij} - h-параметри
 потужності

Для схеми

h_{21B} - стільна база

$$h_{21B} = \frac{I_k}{I_e} = 0,95 \div 0,99$$

$I_k = h_{21B} I_e$ - амплітудні значення

h_{21B} - коеф. підсилення по струму, познач. h

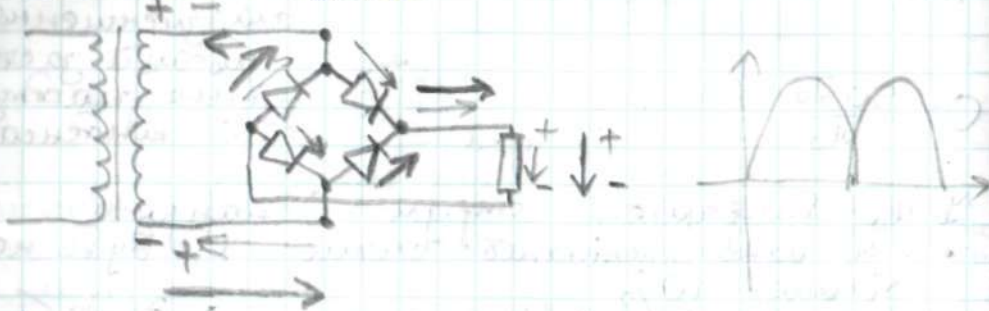
$$U_0 = 2,045 U_2 = 0,9 U_2$$

$$U_{zv} = 3,14 U_0$$

ПЕРЕВАЖАЄ: • через кожний діод тече струм в 2 рази менший, ніж в однодіодній схемі

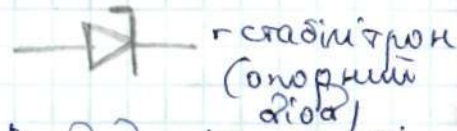
Коефік.: $K_n = 0,67$ (зміна складової до середнього значення)

• Мостова схема



• Інші приклади, які працюють на властивостях р-н переходів

- Стабілітрони (кремнієві)



В зворотній області - характеристика як в діодах

$I_{min\text{ст}}$

↔ В зідженій області

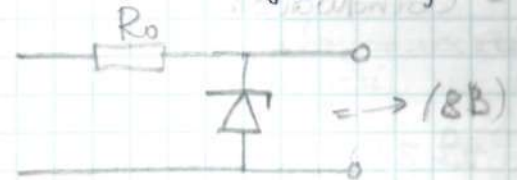
Кремнієві стабіл. незал. від температури.

$I_{max\text{ст}}$

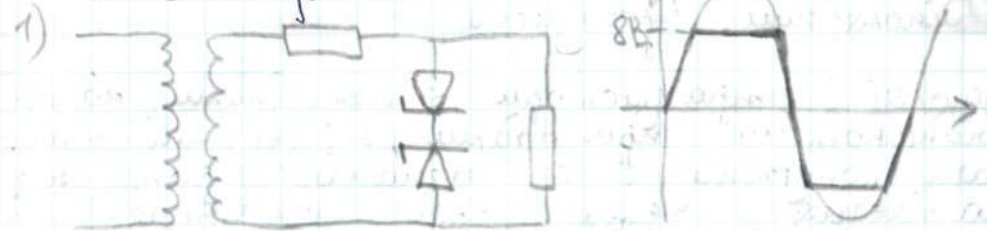
- $U_{stab.}$ - значення напруги пробією при $I_{ном.}$
- Мінімальний струм стабілізації - мінімальний струм, при якому є стійкий електричний пробій.

• $I_{max\text{ст.}}$ - не більший ніж струм пробією

$$R_{диф.} = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$



Використання стабілітрона



2) параметричні стабілізатори

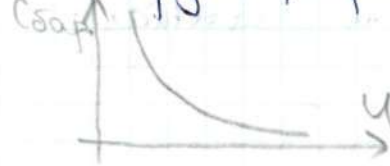
Коеф. стабілізації стабілізатора:

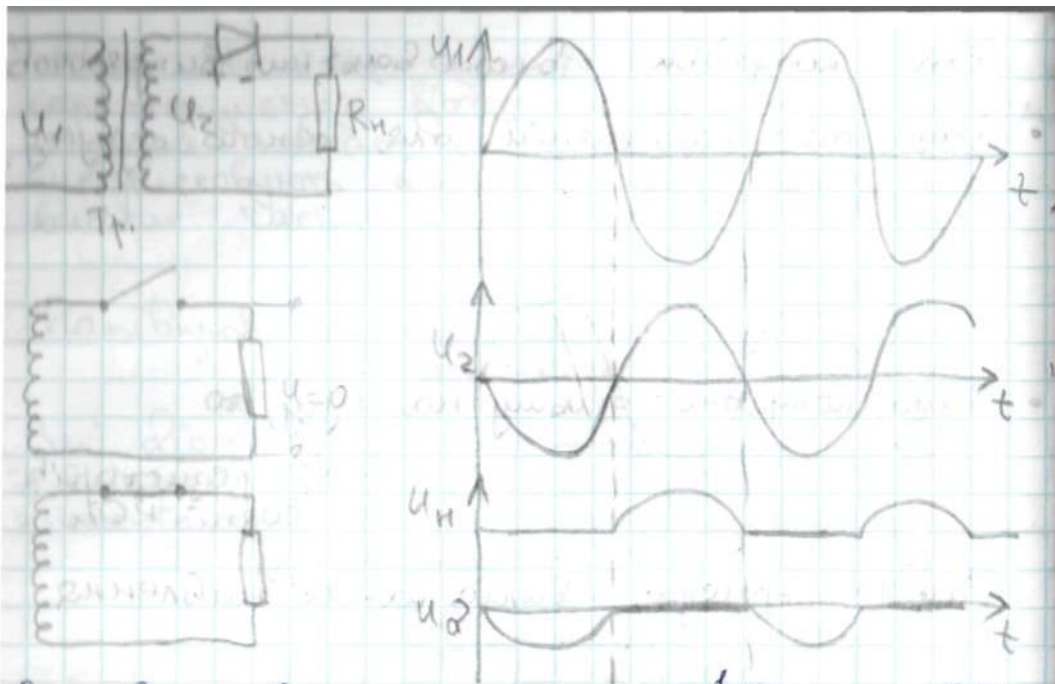
$$K_{ст.} = \frac{\Delta U_{вх}}{U_{вх}} / \frac{\Delta U_{вх}}{U_{вх}} - \text{відношення змін вхідного сигналу до відношення змін вихідного сигналу.}$$

- Варікані

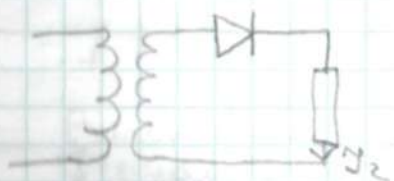


Викор. бар'єрна емісія закритого р-н переходу, яка залежить від зворотної напруги, прикладеної до пристрою.





Висновок: випр. напруга $= \frac{1}{\pi} U_{\text{вих}} = 0,318 U_{\text{вих}} (T_p)$
 зворотня напруга буде прикладена на



$$I_0 = 0,45 I_{2\text{д}}$$

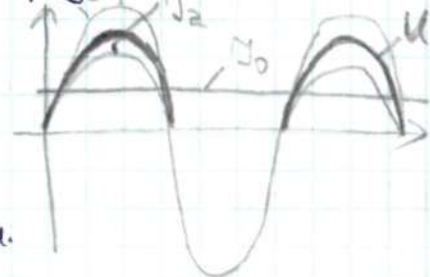
$$U_{\text{випр.}} = I_2 R_n = 0,45 U_2$$

U_2 - різке значення на виході трансформ.

$$U_{3\text{в.}} = 3,14 U_0$$

$$I_0 = \frac{I_{2\text{max}}}{\pi} = 0,318 I_{2\text{д}}$$

середнє значення струму, яке тече через дстр. навантаження

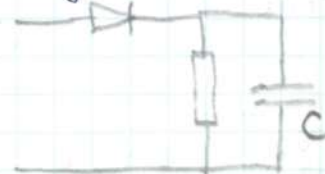


Переваги: - простота
 Недоліки: • випрямлена напруга складає половину напруги на трансформ.;
 • при від'ємній напрузі до діода прикладається зворотня напруга, в 3,14 раза більша від тій, яку хотіли отримати.
 • великий коефіцієнт пульсацій:

$$K_n = \frac{U_{\text{ш.}}}{U_0}$$

(1,57 для одноі-періодної схеми).

$U_{\text{ш.}}$ - перша гармоніка випрямленого сигналу.
 Вихід:

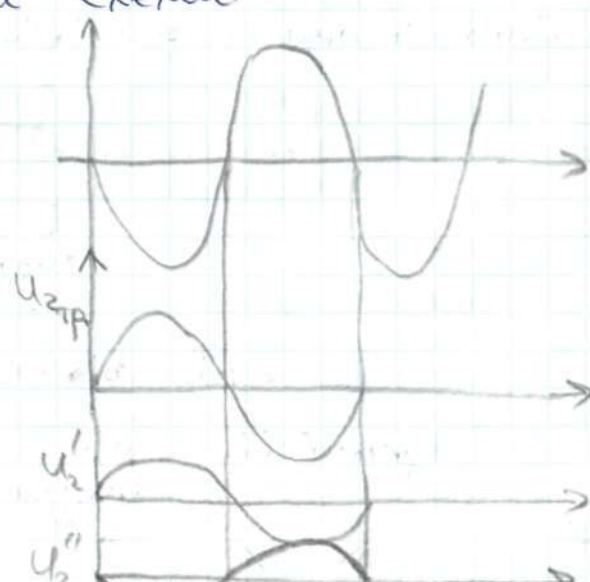
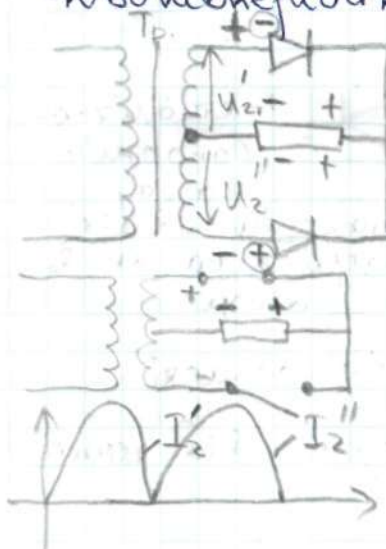


для зменшення пульсацій застосовується з'єдну-ючий конденсатор

$$C = \frac{50 I_0}{U_0}$$

I_0, U_0 - випрямлені струм і напруга
 • для одноі-періодної схеми K_n буде не більше 10%
 • для двоі-періодної схеми $C = \frac{25 I_0}{U_0} (10\% \neq)$

Двоі-періодні схеми



Мат U_1 і U_2 такий тунельний діод характеризується відомим діодом з ростом напруги подає струм. Ці властивості використовують для побудови генераторів високі частот.



Напівпровідникові прилади з одним р-п-переходом (діоди)

Всі діоди поділ. на дві групи:

- 1) випрамлюючі
- 2) спеціальні.

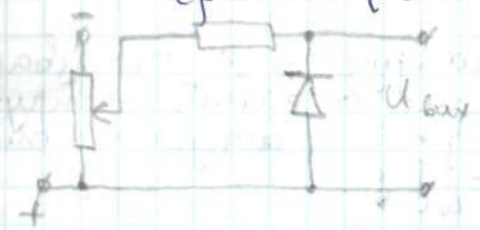
1) діляться на:

- високочастотні
- низькочастотні
- імпульсні

2) викор. різні властивості напівпровідн. переходів (явища проходю)

За способом виготовлення:

- точкові
- сплавні
- дифузійні
- епітаксіальні



Виготовлені з арсеніду галю. Германий не використовується. Кремнієві сплавні діоди використовують для випрямлення змінного струму з частотою до 5 кГц.

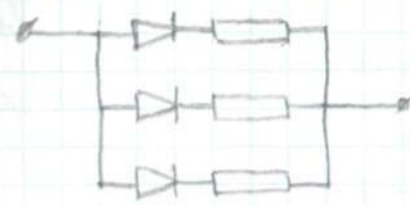
Кремнієві дифузійні діоди - до 100 кГц.

- 1) Кремнієві епітаксіальні (з бар'єр) до 500 кГц.
- 2) Арсенід-галієві діоди - до декількох МГц.

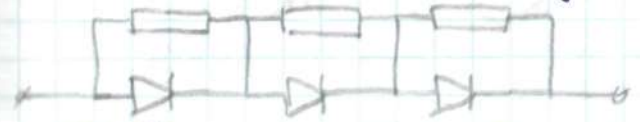
І від відрізняються більш низькою зворотною напругою і більш низьким зворотнім \bar{U}

Для побудови висковольтних випремлюв:

- Якщо діод недостатній для даного струму, то

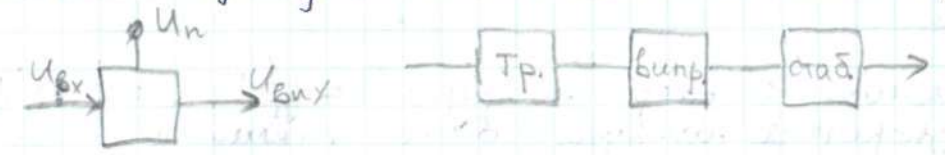


- Якщо потрібно більшу напругу, то

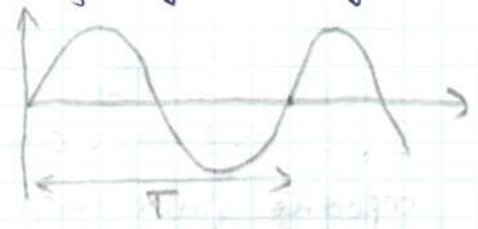


Опір резисторів ~ сотні Ом

Роздел. пристрої вимагають живлення



Випростувачі бувають одно- і двохпериодні.



При прикладенні зовнішньої напруги бар'єрна різниця зменшиться і електрони знову побіжать зліва направо, а дірки справа наліво (опір р-п переходу зменшиться). Якщо подати зворотню полярність (+ -), то бар'єрна різниця збільшиться.

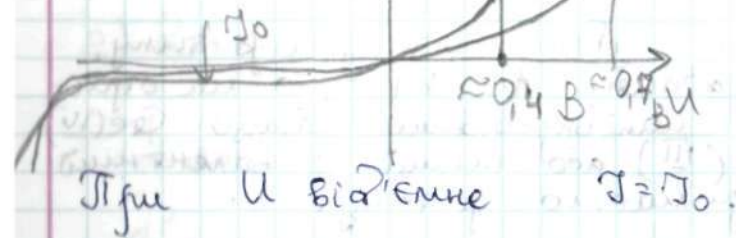
$$J = J_0 \left(e^{\frac{eU}{kT}} - 1 \right), \text{ де } e - \text{заряд електрона,}$$

U - прикладена напруга,
 k - стала Больцмана, T - температура,
 J_0 - зворотній струм р-п переходу.

$$J = F(U)$$

Вольт-амперна характеристика діода

$$R_d = \frac{\Delta U}{\Delta J}$$



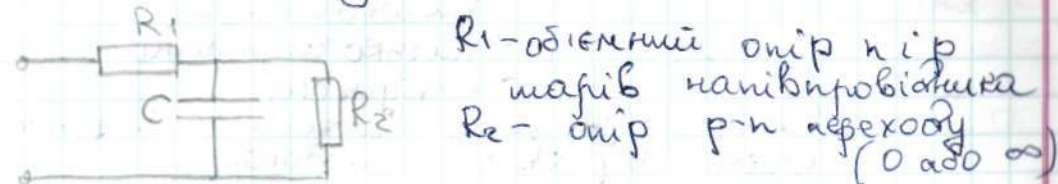
ΔT - перепад температур
 α - коефіцієнт, що залежить від властивостей напівпровідника.

$$\alpha_{Ge} = 0,05 \div 0,09 \text{ K}^{-1} \quad t (70^\circ - 90^\circ \text{C})$$

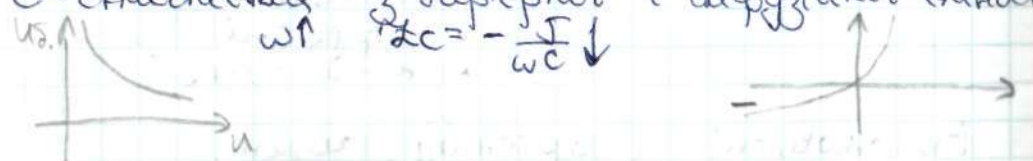
$$\alpha_{Si} = 0,07 \div 0,18 \text{ K}^{-1} \quad t (120^\circ - 150^\circ \text{C})$$

Для обох типів напівпровідників зворотній струм зростає у 2-3,5 рази на кожні 10° підвищення температури. Прямий струм із ростом T зростає не так суттєво, як зворотній.

Частотні залежності

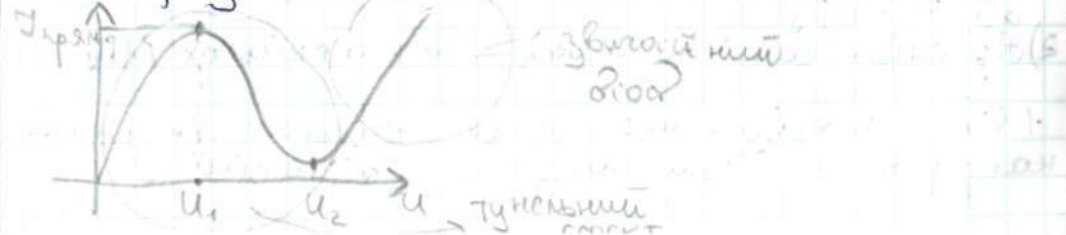


C при зворотній напрузі - це так звана бар'єрна ємність. При зовнішній напрузі C складається з бар'єрної і дифузійної ємності.



Тунельний ефект

Звичайна концентрація домішок в напівпровіднику - 10^{15} атомів/см³. Виготовляють напівпр. з конц. домішок $\sim 10^{20}$ атомів/см³.

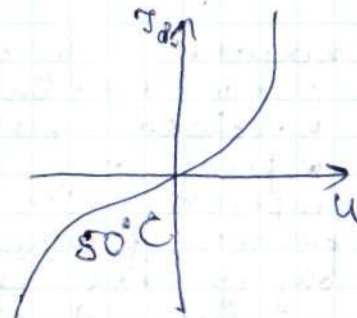


Температурні і частотні властивості р-п переходу

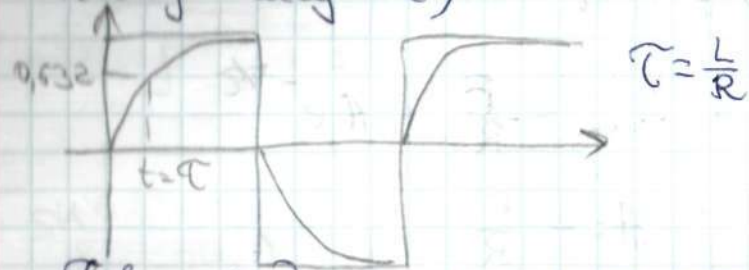
Описують формулою:

$$J(T) = J_0(T) * e^{\alpha \Delta T}$$

$J_0(T)$ - зворотній струм напівпр. при температурі T



Проблема: вибрати частоту генератора, висловивши із значення L і R (можли постійну частоту τ)



Півперіод сигналу генератора має бути найменше в три рази більший від постійної частоти (з метою доброго візуального відображення перехідного процесу). Якщо хочемо вибрати частоту генератора, то не видно сигналу або він "обрізаний". Постійна частота рівна частоті, коли необхідно до встановленої частоти становить $\frac{a}{e} = 0,368$

2) R-L-C коло

$$L \frac{d^2 y}{dt^2} + R \frac{dy}{dt} + \frac{1}{C} \int y dt = E$$

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dy}{dt} + \frac{1}{LC} y = 0$$

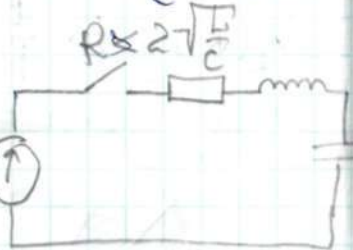
$$y = A e^{-pt}$$

$$y(t) = A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t}$$

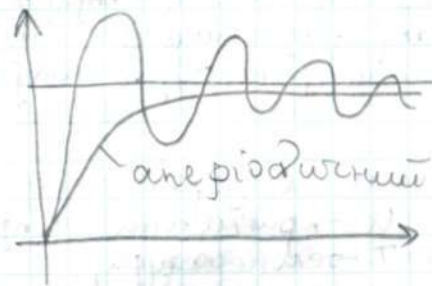
$$p^2 + \frac{R}{L} p + \frac{1}{LC} = 0$$

$$p_{1,2} = \frac{R}{2L} \pm \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}$$

$$A_1 = \frac{E}{p_1 - p_2} ; A_2 = \frac{E}{p_2 - p_1}$$



Якщо $R \leq 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ то характер перехідного процесу буде аперіодичний

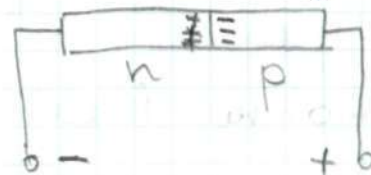


Немінна радіоелектроніка

Більшість немін. радіоел. пристроїв базується на використ. власт. р-п переходу в напівпровідниках

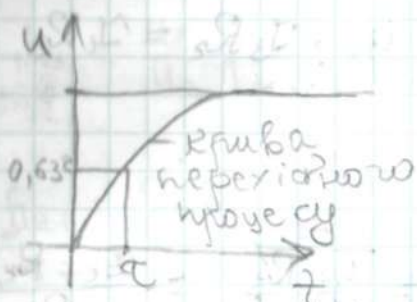
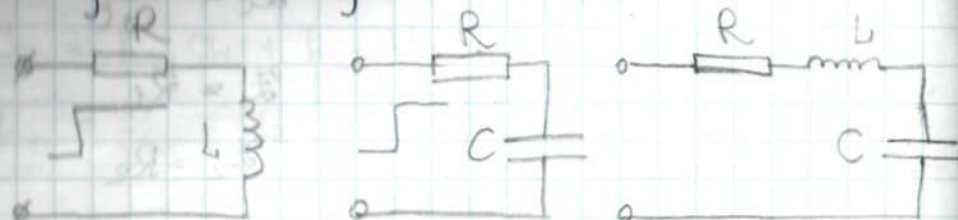
• р-п перехід

Напівпровідник буває n-типу і р-типу. Якщо Ge (IV) додати As (V), то ми отримаємо n-типу напівпровідник. Якщо Ge (IV) додати Id (III) або якийсь III-валентний елемент, то отримаємо р-типу.



n-типу володіє електронною провідністю, р-типу - дірковою. Якщо не подавати напруги, рух електронів має характер дифузії з області в область основних носіїв. Електрони з n-області переходять в р-область, а дірки - з р-області в n-область. На переході між n-і р-напівпровідником утворюється різниця потенціалів, яка створює бар'єр для проходження електронів зліва направо, а дірок - справа наліво.

Перехідні процеси

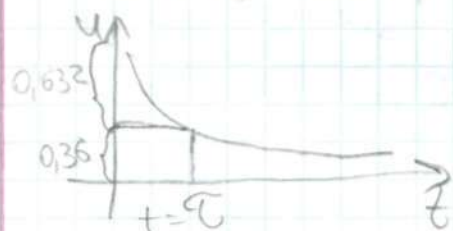


$$U(t) = A(1 - e^{-t/\tau})$$

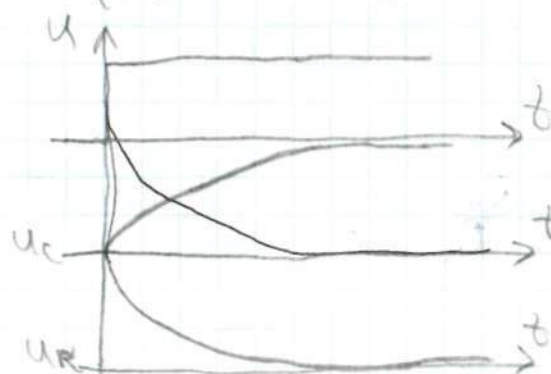
A - скачок
 τ - стала часу перех. процесу

Розв'язок диф. рівнянь базується на двох законах комутації:

1. Струм на індуктивності миттєво змінитися не може
2. Напруга на конденсаторі миттєво змінитися не може



$$U(t) = A e^{-t/\tau}$$



1) R-L-КОЛО

$$L \frac{dI}{dt} + RI = E$$

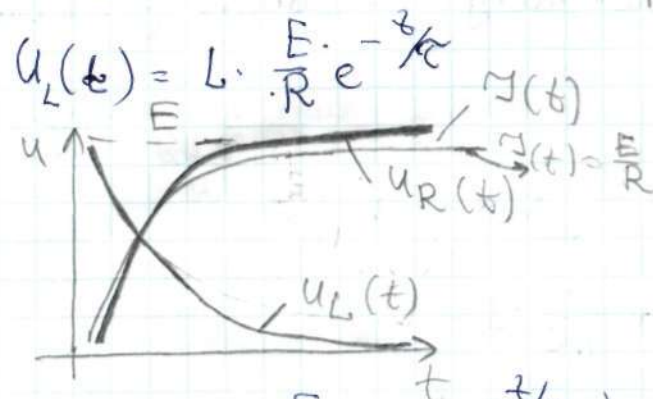
$$I(t) = I_{\text{ст.}} + I_{\text{перех.}} = \frac{E}{R} + A e^{-t/\tau}$$

$$\tau = \frac{L}{R} ; A = -\frac{E}{R}$$

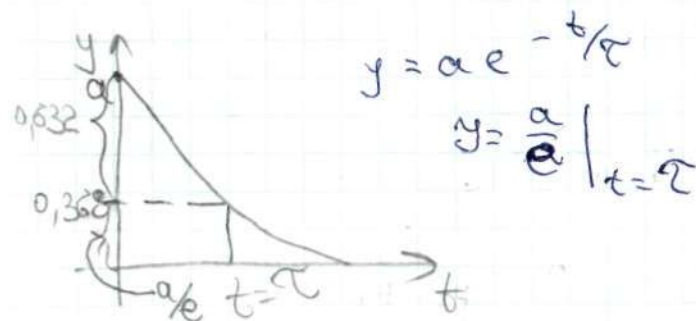
$$I(t) = \frac{E}{R} (1 - e^{-t/\tau})$$

$$1) y = a e^{-t/\tau}$$

$$2) y = a(1 - e^{-t/\tau})$$



$$U_R(t) = R \frac{E}{R} (1 - e^{-t/\tau}) = E(1 - e^{-t/\tau})$$



$$\begin{cases} U_1 = h_{11} I_1 + h_{12} U_2 \\ I_2 = h_{21} I_1 + h_{22} U_2 \end{cases}$$

$h_{11} = \frac{U_1}{I_1} (U_2=0)$ - вхідний опір потужності при короткому замиканні

$h_{12} = \frac{U_1}{U_2} |_{I_1=0}$ - обернений коефіцієнт передачі по напрузі при розімкненому виході

$h_{21} = \frac{I_2}{I_1} |_{U_2=0}$ - коеф. передачі по струму при короткому замиканні на виході

$h_{22} = \frac{I_2}{U_2} |_{I_1=0}$ - при неробочому режимі по виходу це вихідна провідність

A-параметри

$$\begin{cases} U_1 = a_{11} U_2 + a_{12} I_2 \\ I_1 = a_{21} U_2 + a_{22} I_2 \end{cases}$$

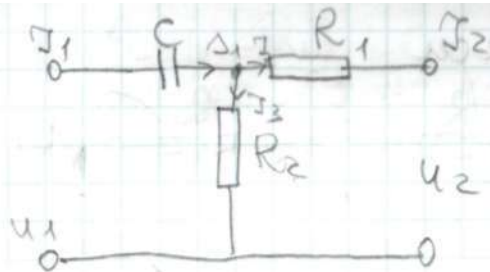
Роблять вхідні струм і напругу з вихідними.

$a_{11} = \frac{U_1}{U_2} |_{I_2=0}$ - режим х.х.

$a_{12} = \frac{U_1}{I_2} |_{U_2=0}$ - к.з.

$a_{21} = \frac{I_1}{U_2} |_{I_2=0}$ - х.х.

$a_{22} = \frac{I_1}{I_2} |_{U_2=0}$ - к.з.



$$Z_c = -\frac{j}{\omega C}$$

$$Z_1 = R_1$$

$$Z_2 = R_2$$

$$U_2 = -I_2 R_1 + I_3 R_2 \Rightarrow U_2 = I_3 R_2 = I_1 R_2$$

$$I_1 = \frac{U_1}{Z_c + R_2}$$

$$U_2 = \frac{U_1 \cdot R_2}{Z_c + R_2} ; a_{11} = \frac{U_1 R_2}{Z_c + R_2} = \frac{Z_c + R_2}{R_2}$$

$$a_{11} = A + jB ; A, B = f(\text{парам. } R, C, f)$$

$$a_{11} = |a_{11}| e^{j\varphi_{11}}$$

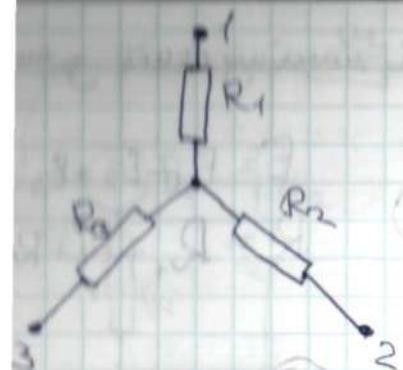
$$|a_{11}| = \sqrt{A^2 + B^2} ; \varphi_{11} = \arctg \frac{B}{A}$$

• $a_{12} = \frac{U_1}{I_2} |_{U_2=0}$ - к.з.

$$1) I_2 = I_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_1 = \frac{U_1}{Z_c + R_1 || R_2}$$

$$I_2 = \frac{U_1}{Z_c + R_1 || R_2} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$



"Трикутник":

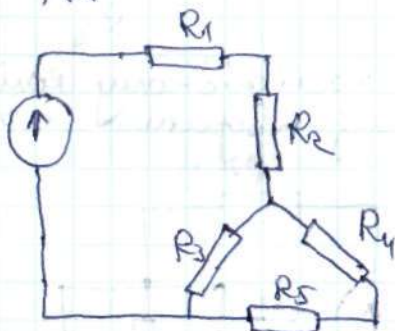
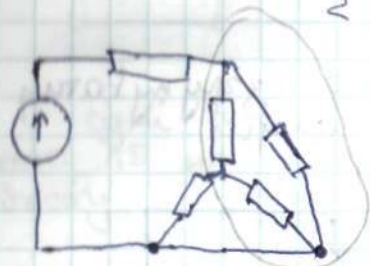


$$m = R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3$$

$$R_{12} = m/R_3$$

$$R_{13} = m/R_2$$

$$R_{23} = m/R_1$$



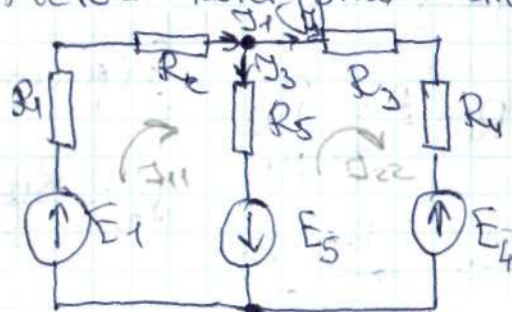
$$R' = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R'' = R_4 + R_5$$

$$R = \frac{R' \cdot R''}{R' + R''}$$

$$\frac{(R_5 + R_4) \cdot R_3}{(R_5 + R_4) + R_3} + R_2 + R_1 = R$$

Метод контурних струмів



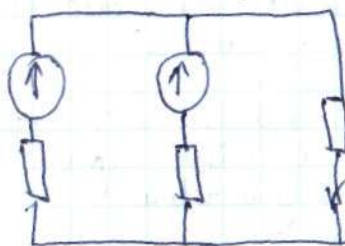
$$I_{11} (R_1 + R_2 + R_5) -$$

$$- I_{22} R_5 = E_1 + E_5$$

$$- I_{11} R_5 + I_{22} (R_5 + R_3 + R_4) = -E_4 - E_5$$

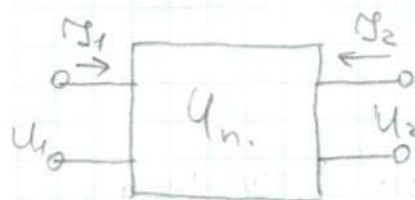
$$I_1 = I_{11}; \quad I_2 = I_{22}; \quad I_3 = I_{11} - I_{22}$$

• Метод накладення струмів застосовується для лінійних систем; якщо в колі є джерело е.р.с. і еквівалентний струм буде дорівнювати сумі струмів, викликаний джерелом з е.р.с.



• Метод еквівалентного генератора застосовується, якщо потрібно розрахувати струм тільки в якійсь з віток.

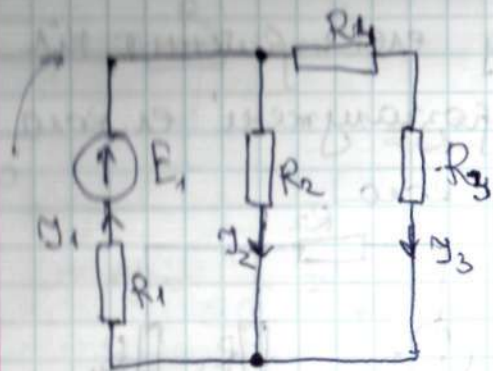
Лінійний потужності



$$\begin{cases} U_1 = Z_{11} I_1 + Z_{12} I_2 \\ U_2 = Z_{21} I_1 + Z_{22} I_2 \end{cases}$$

Провівши певні експерименти (режими холостого ходу і короткого замикання), ми отримуємо параметри Z_{ij} , які повністю характеризують такий потужності.

H-параметри використовуються для характеристики транзистора.



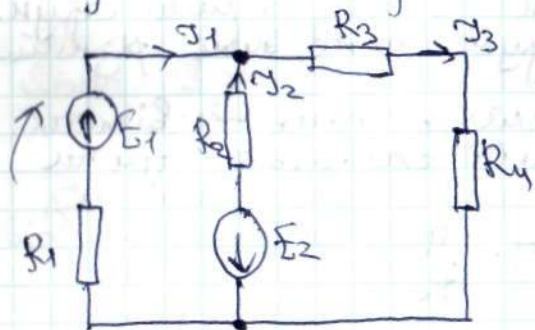
$$I_1 = I_2 + I_3$$

$$\sum I_i R_i = \sum E_j$$

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 = E_1$$

В сумі береться складова із знаком плюс, якщо її напрямок співпадає із напрямком обходу контуру.

Застосування законів Кірхгофа для розв'язку конкретних електричних кіл.



$$E_1 = 80 \text{ В}$$

$$E_2 = 64 \text{ В}$$

$$R_1 = 6 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 4 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 3 \text{ Ом}$$

$$R_4 = 1 \text{ Ом}$$

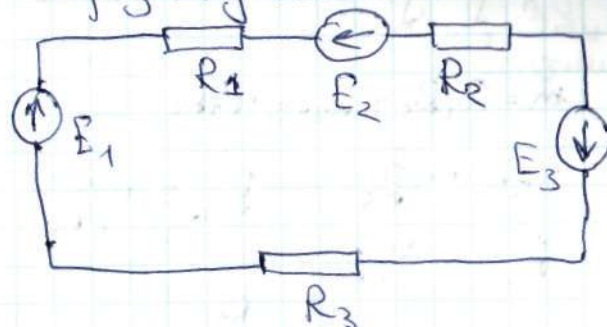
у?

1. довільно вибираємо напрями струмів
 2. вибираємо довільні напрями обходу контурів за II законом Кірхгофа.
- В конкрет. квіт є II вузли і три гілки. Згідно ЗСК можна записати одне рівняння. Згідно ЗНК можна записати 2 рівняння.

$$\begin{cases} I_1 + I_2 = I_3 \\ I_1 R_1 - I_2 R_2 = E_1 + E_2 \\ I_2 R_2 + I_3 (R_3 + R_4) = -E_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_1 = 14 \text{ А} \\ I_2 = -15 \text{ А} \\ I_3 = -1 \text{ А} \end{cases}$$

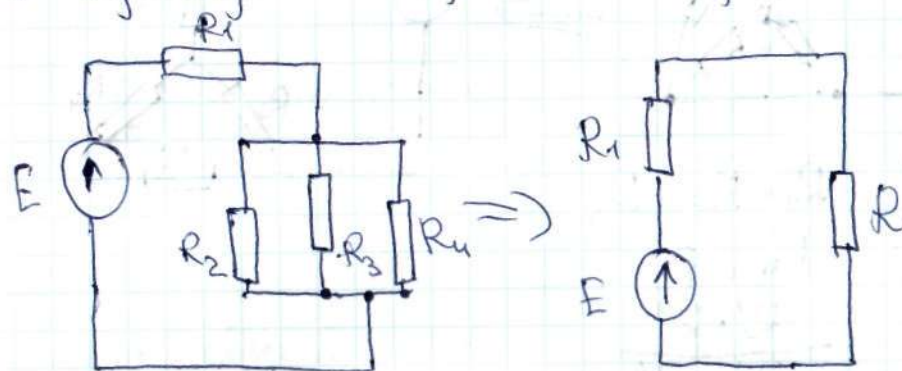
Нерозгадане коло і напрямки з ним



$$E = E_1 - E_2 + E_3$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

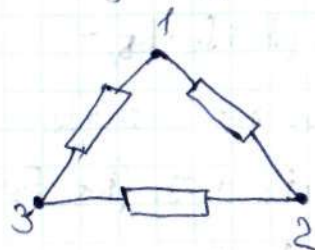
В послідовному колі можна згрупувати і перетворити е.р.с. і опори.



$$G = G_2 + G_3 + G_4$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$$

Перетворення

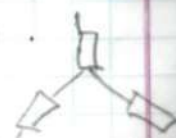


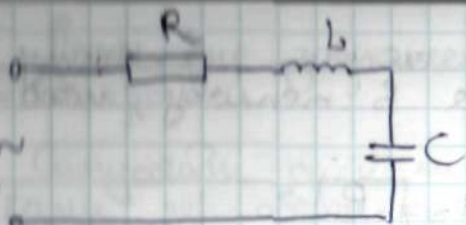
„трикутника“ і „зірочки“

$$R_1 = \frac{R_{12} \cdot R_{13}}{\sum R_i}$$

$$R_2 = \frac{R_{12} \cdot R_{23}}{\sum R_i}$$

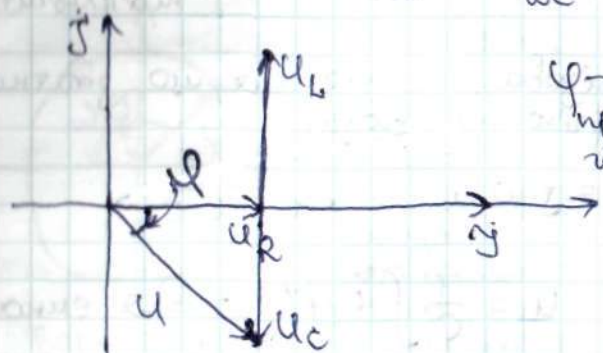
$$R_3 = \frac{R_{13} \cdot R_{23}}{\sum R_i}$$





Робимо векторну діаграму напруг на даному послідовному контурі.

$$Y = \frac{U}{\sum Z} = \frac{U}{R + j\omega L - \frac{j}{\omega C}}$$



φ - кут фаз між прикладеною напругою і струмом, який протікає в колі

Якщо $U_L = U_C$ ($Z_L = |Z_C|$) - резонанс. Якщо $Z_L > Z_C$, то контур має індуктивний характер.

Чи може на L і C бути напруга, більша від прикладеної? Так, незважаючи на той факт, що $Z_L = Z_C$.

$$U_L = I \omega L$$

$$U_C = -I \frac{1}{\omega C}$$

$$U = I R$$

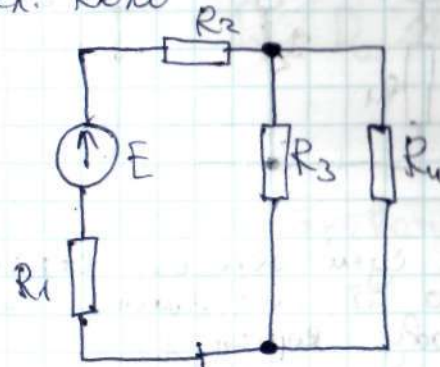
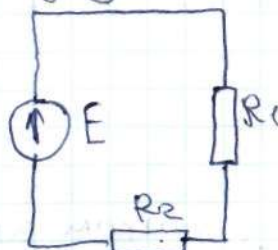
$$\omega = f(L, C), \text{ тоді}$$

$$I = \frac{U}{R}$$

Методи аналізу електричних кіл 17

- Розгалужені і нерозгалужені ел. кола.

- Нерозгалужене ел. коло



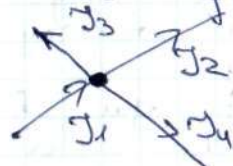
- Найпростіше розгалужене коло містить три вітки і два вузли. Вітка - ділянка кола між двома вузлами. Властивістю вітки є те, що по ній тече один і той самий струм. В кожній вітці струм може бути різний.

Контур - замкнений шлях по декількох вітках. Вузол - це точка, в якій сходяться три чи більше віток.

Закон Ома : $I = \frac{U}{R}$

Законои Кірхгофа:

I.)



$$I_1 - I_2 - I_3 - I_4 = 0$$

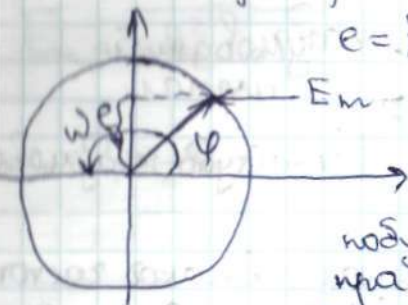
$$I_1 = I_2 + I_3 + I_4$$

II.)

Алгебраїчна сума спадів напруг в замкнутому контурі дорівнює алгебраїчній сумі е.р.с. вздовж цього контура.

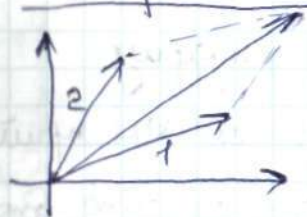
Векторне зображення сигналів. Векторні діаграми

Синусоїдальні сигнали можна зобразити векторами, які обертаються з кутовою частотою ω , зображають векторами, які обертаються навколо осей свого початку, при цьому довжина вектора рівна амплітуді сигналу.



$$e = E_m \sin(\omega t + \varphi)$$

Сутність векторів, що характеризують процес, які проходять в колі змінного струму і побудовані з оглядом на правильну орієнтацію їх відносно осей координат, назив. векторною діаграмою.



Елементи електричного кола

Ел. коло - це деякий набір взаємопов'язаних елементів: резисторів, конденсаторів, котушок індуктивності, джерел ел. енергії, транзисторів... (кожен елем. кола на активні (віддають ел. енергію) і пасивні (розсіюють або накопичують енергію)). Реальні опори, котушки, конденсатори володіють (крім з них) iR , iL , iC .

Опір - це ідеалізований елемент, в якому ел. енергія перетворюється в теплову, механічну чи світлову.

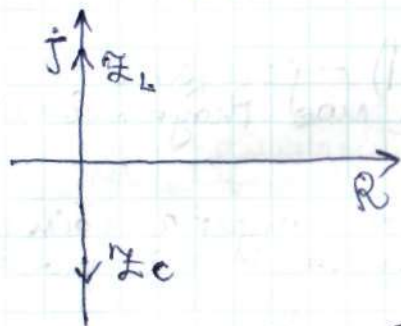
$$P = UI = I^2 R \quad ; \quad I = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

$$I = \frac{U}{R} \Rightarrow U = I \cdot R = R \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{PR} - \text{max } U \text{ , під яку можна підключити}$$

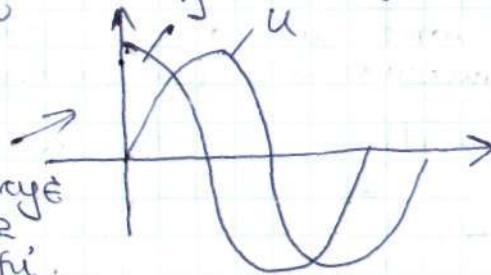
Ємність - ідеалізований елемент, що здатний акумулювати енергію ел. поля,

$$Z_R = R \quad ; \quad Z_L = j\omega L \quad ; \quad Z_C = -\frac{j}{\omega C}$$

$$i = C \frac{du}{dt} \quad ; \quad u = \frac{1}{C} \int i dt - \text{для ємності}$$



Зсуву фаз між струмом і напругою немає. (для опору)



Струм випереджує напругу на $\pi/2$ на конденсаторі.

Індуктивність: напруга випереджує струм на $\pi/2$

$$u = L \frac{di}{dt} \quad ; \quad Z = j\omega L$$

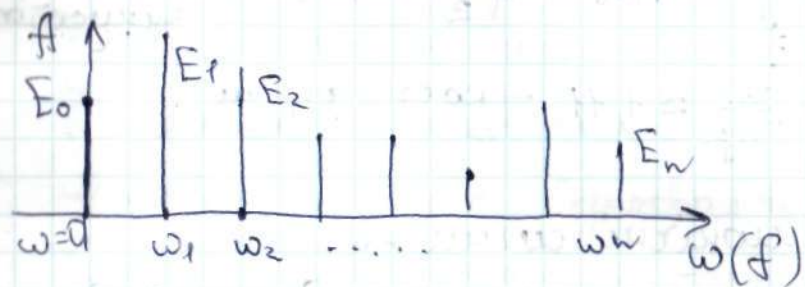
$$E_0 = \frac{1}{T} \int_0^T e(t) dt$$

$$B_k = \frac{2}{T} \int_0^T e(t) \sin k\omega t dt$$

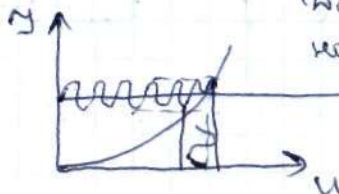
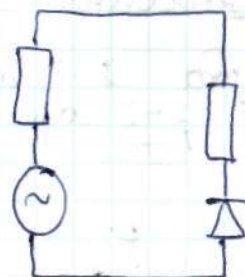
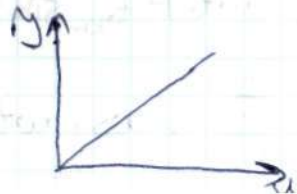
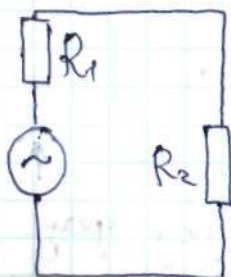
$$C_k = \frac{2}{T} \int_0^T e(t) \cos k\omega t dt$$

$$E_m = \sqrt{B_k^2 + C_k^2} \quad \text{tg } \varphi = \frac{C_k}{B_k}$$

$$k = 1, 2, 3, \dots, \infty$$

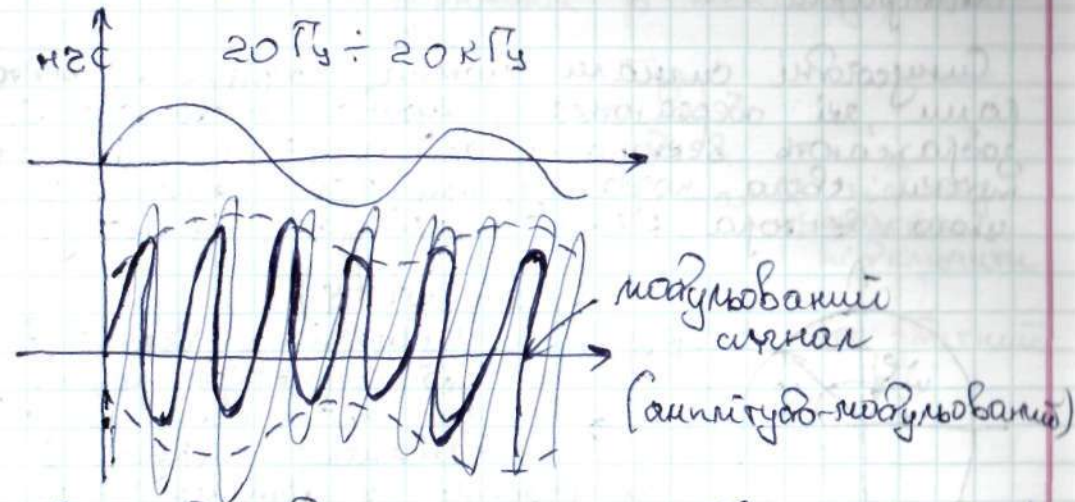


$$i_{\Sigma} = f(E_0, E_1, \dots)$$



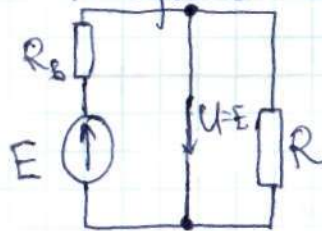
Податня і віден
на характер-
будуть різні

Модульовані сигнали



Амплітудно-модул. несучий сигнал (високої частоти) промодульований по амплітуді сигналом низької частоти.

Джерело ЕРС і джерело струму



Для розрах. ел. кіл приймають:
Джерело ер.с. - це таке джерело ер.с. якою постійна і не залежить від струму, який через нього протікає. Реально це буде моді, коли R_b (внутр. опір) на декілька порядків менший від R .

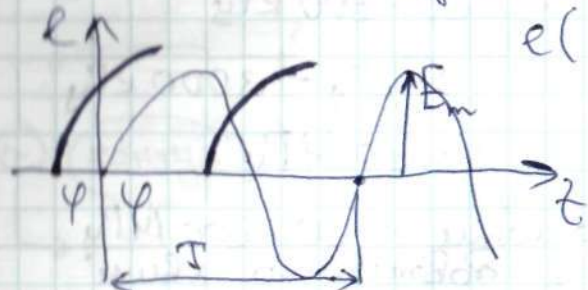
Ⓐ - Джерело струму - це таке джерело, яке дає струм, що не залежить від значення навантаження і рівне $I = \frac{E}{R_b}$ ($R_b \gg R$!)

розповсюдження в просторі. Вектори ер і
магнітних хвиль взаємоперпендикулярні до напрямку
поширення радіохвиль.

Періодичні сигнали

Очевидно, що період. сигналами

$$e(t) = E_m \sin(\omega t \pm \varphi)$$



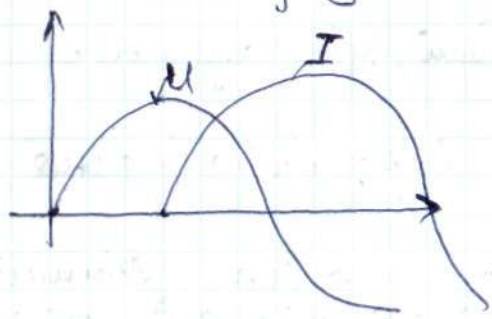
$e(t)$ - моментальне значення (миттєве) в да-
ний момент часу
 E_m - (максимальне) амплітудне значення

$\omega = 2\pi f$ - циклічна (кругова) частота

$f = \frac{1}{T}$, $T = \frac{1}{f}$ - період сигналу

φ - фаза сигналу

Поняття фази



$P_n = U \cdot I$ - повна
потужність

$P_a = UI \cos \varphi$ - активна
потужність

$P_r = UI \sin \varphi$ - реактивна
потужність

$$\cos \varphi \Rightarrow \xi$$

Сигнал характеризується:

E_m - амплітудне значення

$E_{сер.} = \frac{1}{T} \int_0^T e(t) dt$ - середнє значення
(для синусоїди = 0)

Тому оперують середнім значенням за
півперіоду

$$E_{сер.} = \frac{2}{\pi} E_m \approx 0,64$$

$E_{д.}$ - діюче (ефективне) значення

$$E_{д.} = \sqrt{\int_0^T e^2(t) dt} = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \approx 0,7 E_m \quad \text{— для синусоїди}$$

$$K_{ф.} = \frac{E_{д.}}{E_{сер.}} \approx 1,11 \quad \text{— коеф. форми.}$$

Негармонічні сигнали

$$e(t) = E_0 + E_{1m} \sin(\omega t + \varphi_1) + E_{2m} \sin(2\omega t + \varphi_2) + \dots$$

E_0 - середнє значення

E_{1m} - амплітуда 1-ї гармоніки,

ω - частота 1-ї гармоніки

φ_1 - фаза 1-ї гармоніки

Якщо перевести ф-ну без зсуву фаз

$$E_{km} \sin(\omega t + \varphi_k) = E_{km} \cos(k\omega t) + E_{km} \sin k\omega t$$

$$e(t) = E_0 + \sum_{k=1}^{\infty} b_k \sin k\omega t + \sum_{k=1}^{\infty} c_k \cos k\omega t$$