

# ЛІНІЙНІ КОЛА

Суперпозиція в лінійному колі

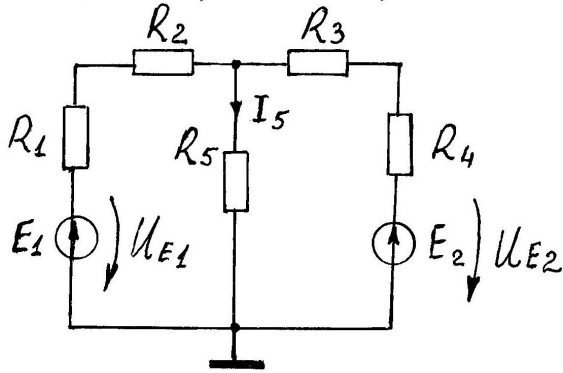
Закони електричних кіл

Топологія та елементи схем

# Особливості аналізу електричних схем методами ТЕК (ПР)

$$f(aU_1 + bU_2) = a f(U_1) + b f(U_2)$$

$$I_5 = G_{51} \cdot U_{E1} + G_{52} \cdot U_{E2}$$



2) Лінійність (квазілінійність) електричного кола (електромагнітного фрагменту-елементу, -незалежність параметрів електричного кола від величин та напрямків  $U, I$ ; (незалежність умов розповсюдження електромагнітних хвиль від напрямку та амплітуд  $E, H$ );

Якщо умова лінійності не виконується - то коло нелінійне = параметри кола можуть слугувати співвідношенням між  $U, I$  на його участках:  $U/I = R$  (закон Ома для ділянки кола;

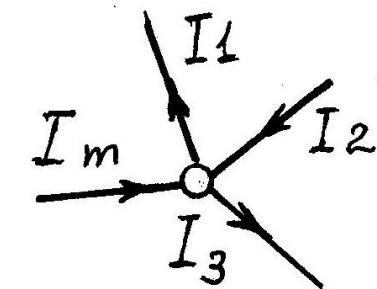
3) Принцип суперпозиції (накладення дій), та взаємність в електричному колі - є властивості електричного кола, які виникають як наслідок його лінійності (п.2):

Реакція кола на декілька вхідних дій - є алгебраїчна сума реакцій кола на кожну дію окремо;

# Закони Кірхгофа

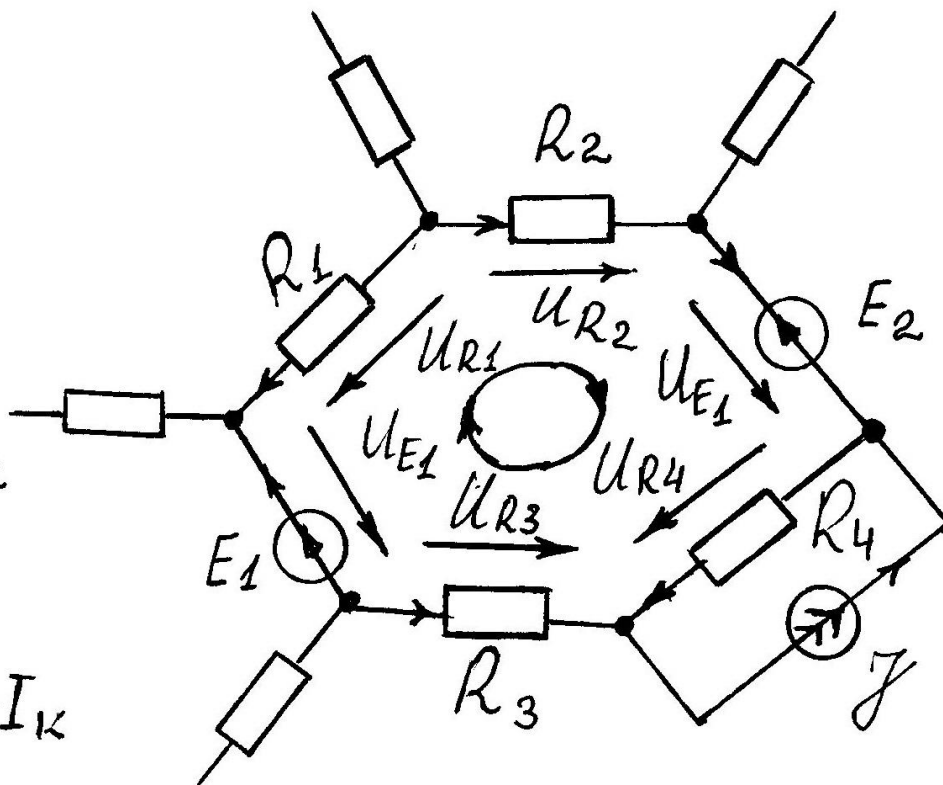
(I)

$$\sum_{i=1}^m I_i = 0$$



(II)

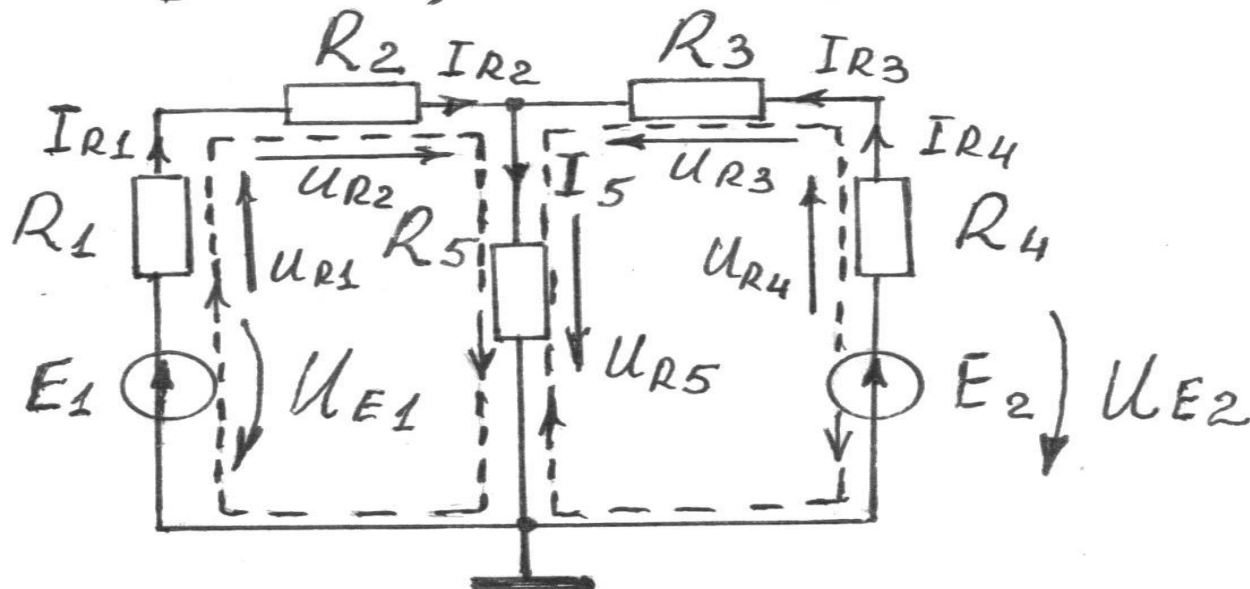
$$\sum_{i=1}^R U_i = 0$$



# Приклад розрахунку суперпозиції в лінійному колі

$$f(aU_1 + bU_2) = a f(U_1) + b f(U_2)$$

$$I_5 = G_{51} \cdot U_{E1} + G_{52} \cdot U_{E2}$$



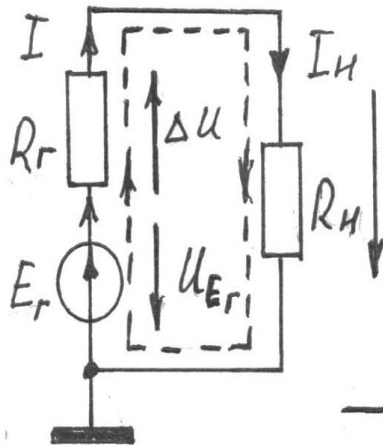
$$-U_{E1} + U_{R1} + U_{R2} + U_{R5} = 0; U_{E1} = E_1; I_{R1} = I_{R2} = I_1; \text{при дії тільки } E_1; E_2 = 0;$$

$$I_1 R_1 + I_1 R_2 + I_{51} R_5 = E_1; I_{R3} = I_{R4} = I_2; -I_{51} R_5 - I_2 R_3 - I_2 R_4 = 0; I_{51} = I_1 + I_2;$$

$$I_{51} = I_2 (R_3 + R_4) / R_5 = (I_{51} - I_1) \cdot (R_3 + R_4) / R_5 \leftarrow I_1 = (E_1 - I_{51} R_5) / (R_1 + R_2)$$

$$I_2 = I_{51} - I_1; I_{51} = E_1 (R_3 + R_4) / ((R_3 + R_4 - R_5) \cdot (R_1 + R_2) + R_5 (R_3 + R_4)); \Rightarrow I_5 = I_{51} + I_{52};$$

# Розрахунок схеми до лабораторної №2



$$-U_{E_r} + \Delta U + U_{R_n} = 0; \quad U_{E_r} = E_r; \quad I \cdot R_r + I \cdot R_n = E_r; \quad I_n = I;$$

$$I_n = E_r / (R_r + R_n); \quad U_{R_n} = E_r - \Delta U = E_r - I \cdot R_r = I_n \cdot R_n;$$

$$P_n = U_n \cdot I_n = I_n^2 \cdot R_n = (E_r / (R_r + R_n))^2 \cdot R_n; \quad \text{— потужність у навантаженні}$$

$$\text{ККД: } \eta = P_n / P_r = U_n \cdot I_n / E_r \cdot I_n = (E_r - I_n \cdot R_r) / E_r = 1 - I_n \frac{R_r}{E_r} = \frac{R_n}{R_n + R_r}$$

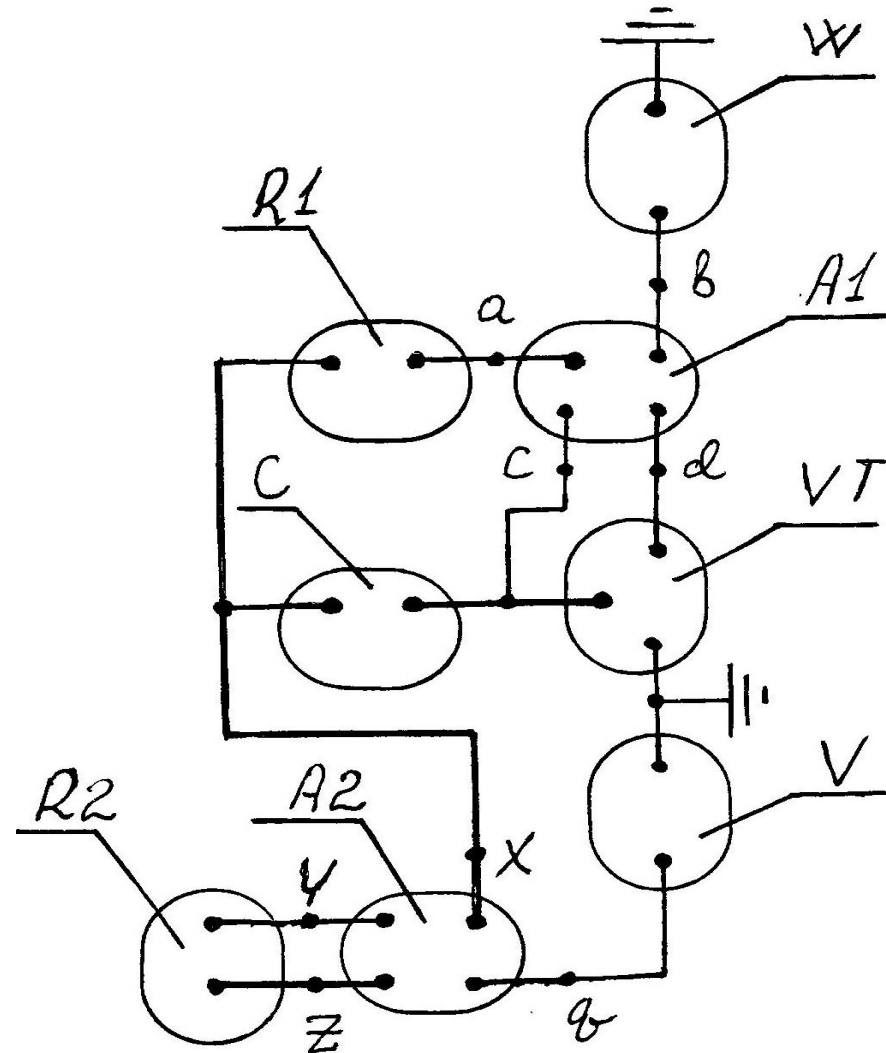
При холостому ході (ХХ):  $R_n = \infty; I_n = 0; \Delta U = 0; E_r = U_n; P_r = 0; P_n = 0; \eta = 1;$

При короткому замиканні (КЗ):  $R_n = 0; I_n = I_{кз} = E_r / R_r; \Delta U = E_r; U_n = 0; P_r = E_r^2 / R_r; P_n = 0; \eta = 0;$

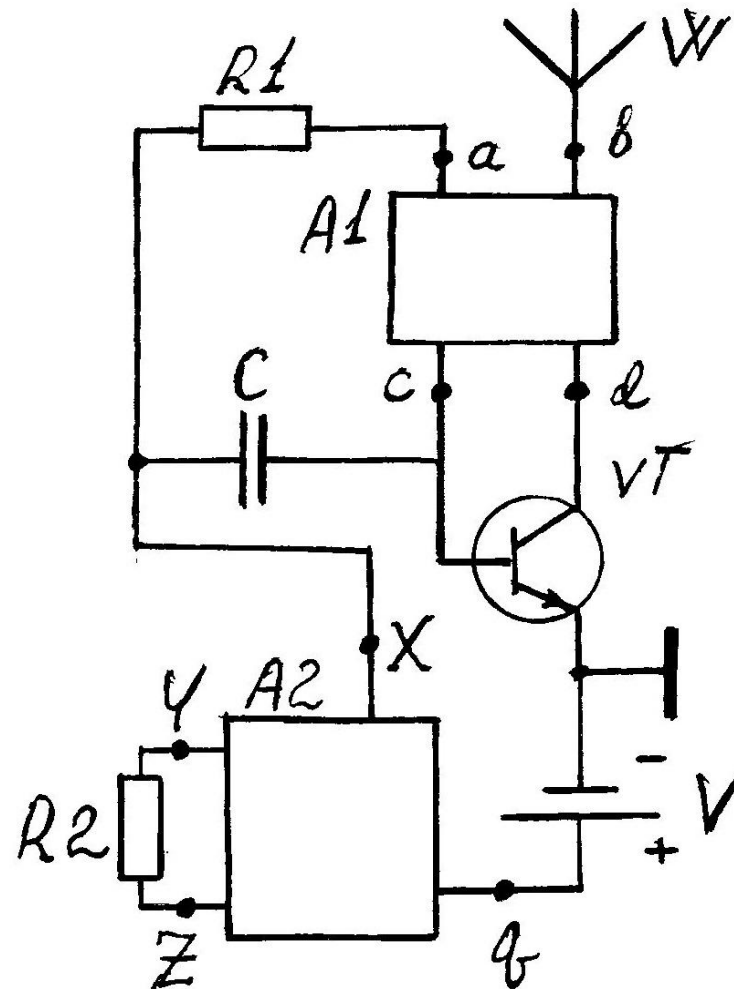
Значення оптимального навантаження ( $P_n = P_n^{\max}$  при зміні  $R_n$ ):

$$\frac{dP_n}{dR_n} = E_r^2 / (R_n + R_r)^2 - 2R_n E_r^2 / (R_n + R_r)^3 = 0 \Rightarrow 1 - 2R_n / (R_n + R_r) = 0 \Rightarrow R_r = R_n$$

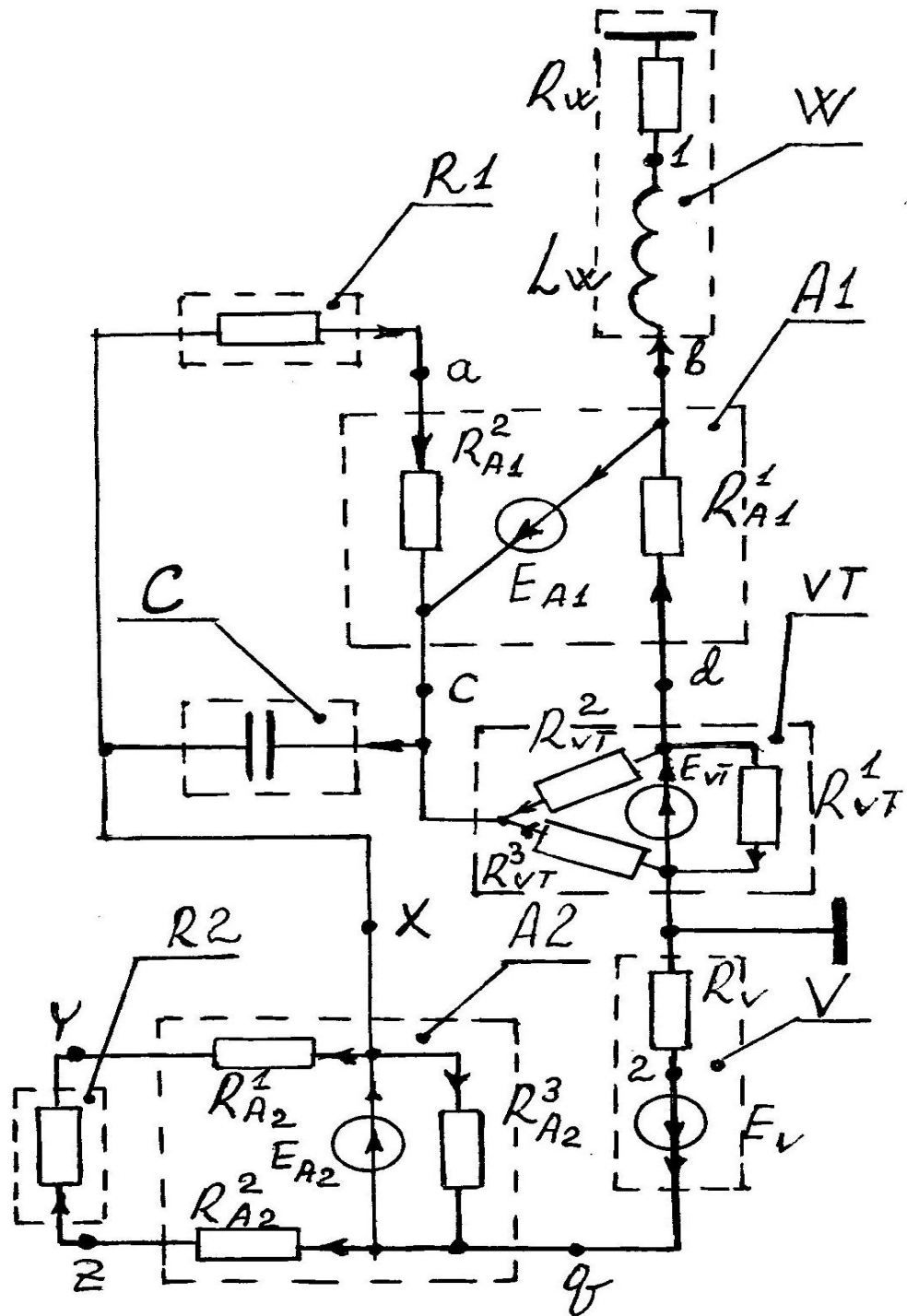
# Вихідний електромагнітний фрагмент



# Вихідна схема

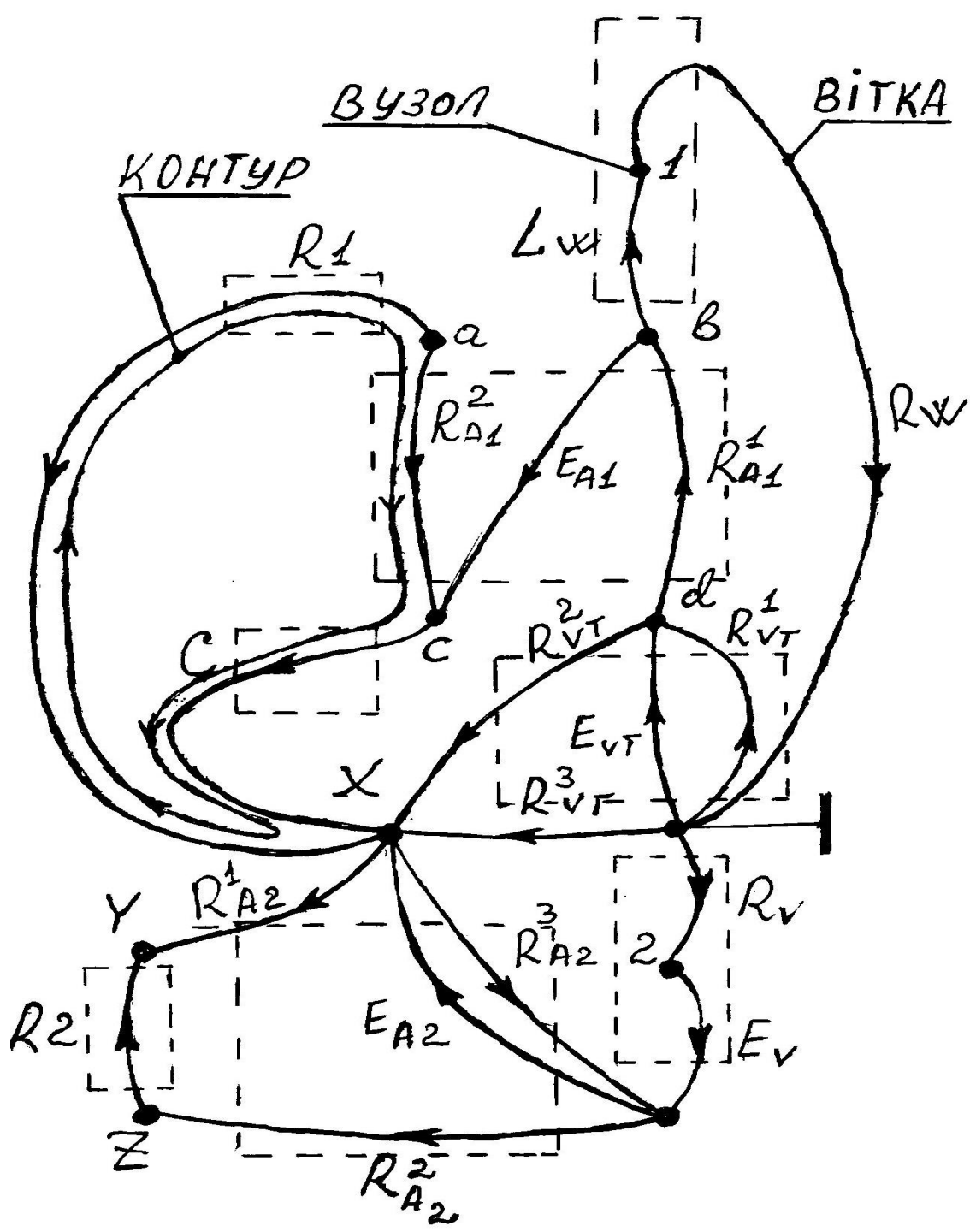


# Еквівалентна схема заміщення

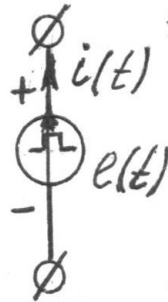
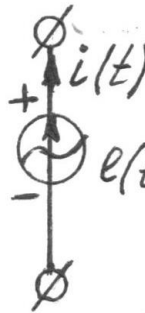
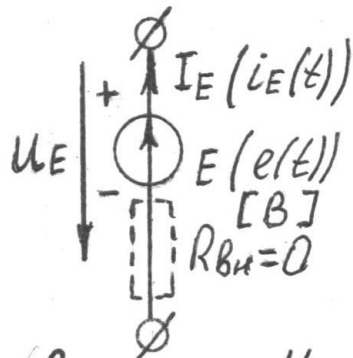




# Граф схеми



# Незалежні ідеальні джерела

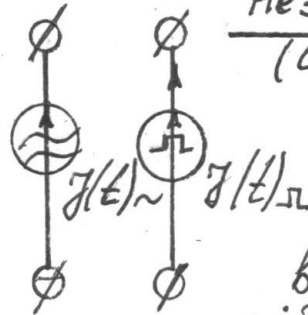
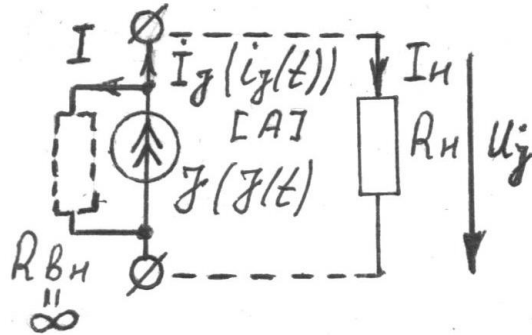


Незалежне ідеальне джерело напруги (E):

(активний елемент кола) – математична модель елемента кола, який створює на своїх зовнішніх виводах значення напруги  $U_E$ , яка не залежить від величини струму  $I_E$ , що протікає через це джерело напруги.

Величина  $U_E$  – не залежить від параметрів зовнішнього кола (навант.) підключеного до цього джерела напруги  $\Rightarrow$  Властивості джерела:

- а) Внутрішній опір ідеального джерела напруги –  $R_{вн} = 0$ ;
- б) Потужність такого джерела  $P_{дж} = U_E \cdot I_E \rightarrow -\infty$  ( $R_n \rightarrow 0$ ;  $I_E \rightarrow \infty$ ;  $U_E = const$ )

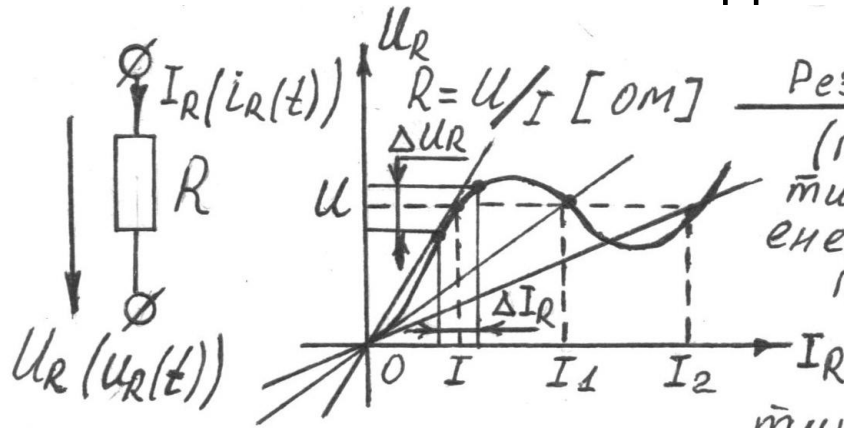


Незалежне ідеальне джерело струму (J):

(активний елемент кола) – математична модель елемента кола, який створює на своїх зовнішніх виводах значення струму  $I_j$ , що не залежить від параметрів зовнішнього кола ( $R_n$ ), підключеного до джерела  $\Rightarrow$  Властивості:

- а) Внутрішній опір ідеального джерела струму –  $R_{вн} \rightarrow \infty$ ;
- б) Потужність такого джерела  $P_{дж} = U_j \cdot I_j \rightarrow -\infty$  ( $R_n \rightarrow \infty$ ,  $U_j \rightarrow \infty$ ,  $I_j = const$ )

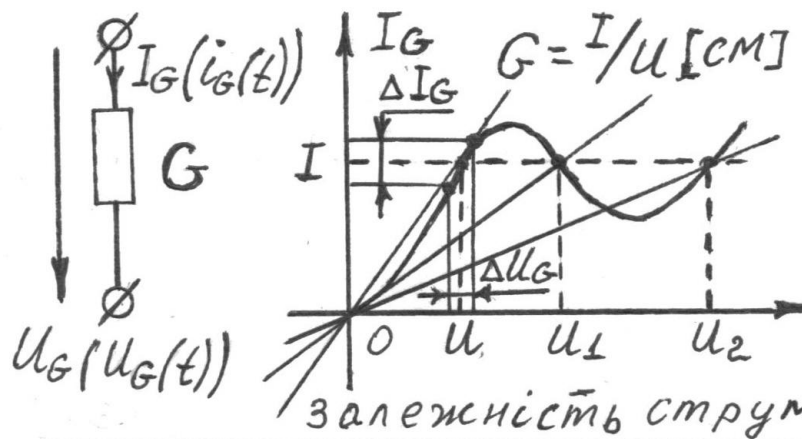
# Пасивні двополюсні елементи



Резистивний елемент (R):

(пасивний елемент кола) – математична модель елемента кола на якому енергія електромагнітного поля перетворюється в інші види енергії (теплота, хімічна реакція...)

та вольт-амперна характеристика елемента (ВАХ) має однозначну залежність напруги на елементі від струму через цей елемент.



Елемент типу провідність (G):

(Пасивний елемент кола) – математична модель елемента кола на якому енергія електромагнітного поля перетворюється в інші види енергії (теплота, механічна енергія...)

та ВАХ елемента має однозначну залежність струму через елемент від напруги на ньому

⇒ Для лінійного елемента  $G = 1/R$ , що не виконується для нелінійного елемента.

⇒ Нелінійні залежності можуть бути апроксимовані тими чи іншими функціональними залежностями з певним рівнем точності.

⇒ На постійному струмі – ціліснийна залежність, що проходить через "0"

⇒ На змінному струмі:  $G_g = \Delta I_G / \Delta U_G$ ;  $R_g = \Delta U_R / \Delta I_R$  → диференційні параметри елементів

# Реактивні двополюсні елементи

**Ємнісний елемент (C):**  
 $C = Q/U [\text{Ф}]$  (реактивний елемент кола) – математична модель елемента кола, який здатний запасати енергію електричного поля, шляхом накопичення певної величини заряду  $Q$  при подачі на його зовнішні виводи певної входньої напруги  $U$ . Характеризується Вольт-Кулоновською характеристикою ВКХ

$Q = C \cdot U;$

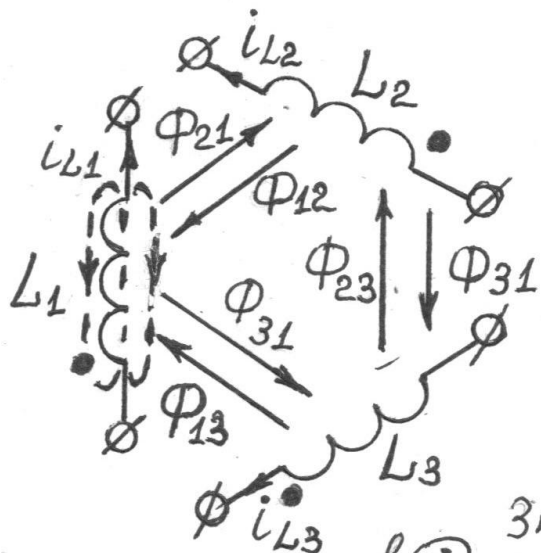
⇒ Компонентне рівняння:  $i_C = \Delta Q / \Delta t = dQ/dt = d(CU)/dt = C \frac{dU}{dt};$   
 ⇒ Для нелінійного елемента:  $C_g = \Delta Q / \Delta U = dQ/dU; \Rightarrow$  робота на змінному струмі

**Індуктивний елемент (L):**  
 (реактивний елемент кола) – математична модель елемента кола, який здатний запасати енергію магнітного поля, шляхом створення певної величини магнітного потоку  $\Phi_L$  при наявності певного струму  $I_L$  через цей елемент. Характеризується Ампер-Генрієвою характеристикою АГХ;

$\Phi = L \cdot I$

⇒ Компонентне рівняння:  $U_L = \Delta \Phi / \Delta t = d\Phi_L/dt = d(LI)/dt = L \frac{dI}{dt};$   
 ⇒ Для нелінійного елемента:  $L_g = \Delta \Phi / \Delta I = d\Phi_L/dI_L; \Rightarrow$  робота на змінному струмі;

# Зв'язані індуктивні елементи



Взаємно-зв'язані індуктивні елементи:

реактивні елементи кола типу індуктивність зв'язані між собою взаємними магнітними потоками  $\Phi_{ik}$ ;

Для лінійного ізотропного середовища: Для  $i$  елемента

$$\Phi_{\Sigma}^i = \Phi_{ii} + \sum_{i \neq k} \Phi_{ik}; \quad \Phi_{\Sigma}^1 = \Phi_{11} + \Phi_{12} - \Phi_{13}$$

Знак  $\Phi_{ik}$  - визначається напрямком струмів в  $i$ -елементі та інших, зв'язаних з цим елементом, по відношенню до початку "намотки"  $\odot \rightarrow \oplus$  пріспівпадінні,  $\ominus$  ішш. вип.

$\Phi_{ik} = M_{ik} \cdot i_k$  - залежить від зв'язку елементів  $i$ ,  $k$  в просторі.

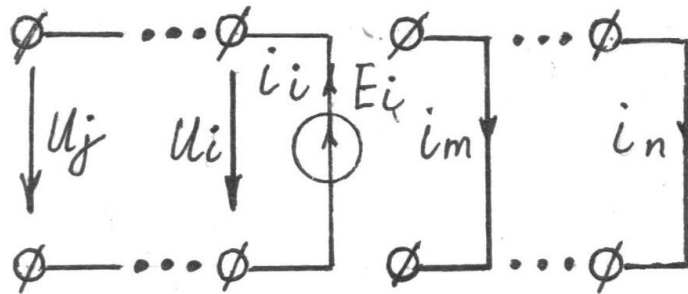
$$k_{3B}^m(i, k) = \frac{M_{ik}}{\sqrt{L_i \cdot L_k}}; \quad \text{Для лінійного ізотропного середовища: } k_{3B}^m(i, k) = k_{3B}^m(k, i)$$

$$U_{Li} = d\Phi_{\Sigma}^i / dt = L_i \frac{di_{Li}}{dt} + \sum_{i \neq k} M_{ik} \frac{di_{Lk}}{dt}; \quad U_{L1} = L_1 \frac{di_{L1}}{dt} + M_{12} \frac{di_{L2}}{dt} - M_{13} \frac{di_{L3}}{dt}$$

$$M_{ik} = k_{3B}^m(i, k) \cdot \sqrt{L_i \cdot L_k}; \quad \Rightarrow U_{Li} = L_i \frac{di_{Li}}{dt} + \sum_{i \neq k} k_{3B}^m(i, k) \cdot \sqrt{L_i \cdot L_k} \cdot \frac{di_{Lk}}{dt};$$

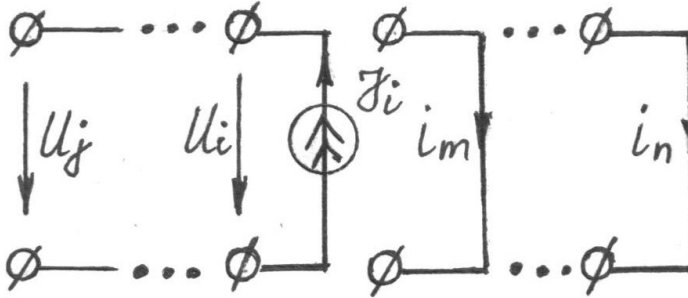
$$U_{L1} = L_1 \frac{di_{L1}}{dt} + k_{3B}^m(1, 2) \sqrt{L_1 \cdot L_2} \cdot \frac{di_{L2}}{dt} - k_{3B}^m(1, 3) \sqrt{L_1 \cdot L_3} \cdot \frac{di_{L3}}{dt}; \quad \text{робота на змінному струмі}$$

# Залежні ідеальні джерела



Залежне ідеальне джерело напруги ( $E_i$ ):  
 (активний елемент кола) – забезпечує на своїх зовнішніх виводах значення напруги, яке не залежить від струму, що проходить через цей елемент, але залежить від напруг та/або струмів на (через) інші елементи кола

$$E_i = \varphi_j(U_j) + \varphi_s(U_s) + \dots + \varphi_k(U_k) + \varphi_m(i_m) + \dots + \varphi_n(i_n)$$



Залежне ідеальне джерело струму ( $J_i$ ):  
 (активний елемент кола) – забезпечує на своїх зовнішніх виводах значення струму, яке не залежить від напруги на виводах цього елемента, але залежить від напруг та/або струмів через (на) інші елементи кола.

$$J_i = \varphi_j(U_j) + \varphi_s(U_s) + \dots + \varphi_k(U_k) + \varphi_m(i_m) + \dots + \varphi_n(i_n)$$

P.S.W. Функції  $\varphi$  – можуть мати часову залежність, але частота зміни в цих функціях:  $f_{\max} \ll f_0$  – для стаціонарності кола.

# Схема заміщення підсилювача напруги

