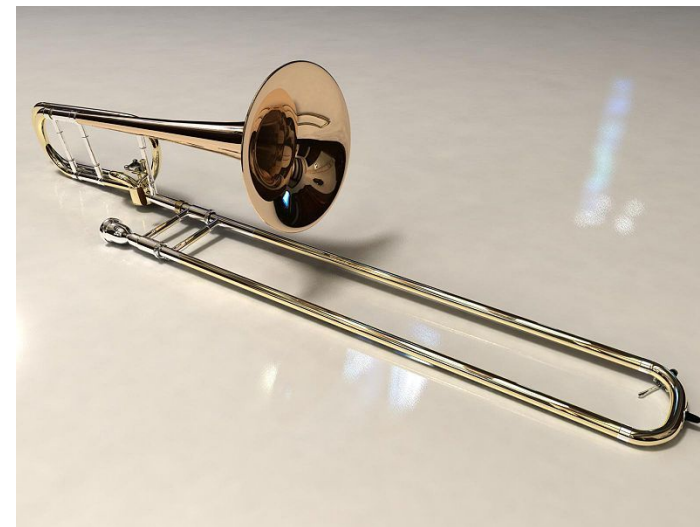
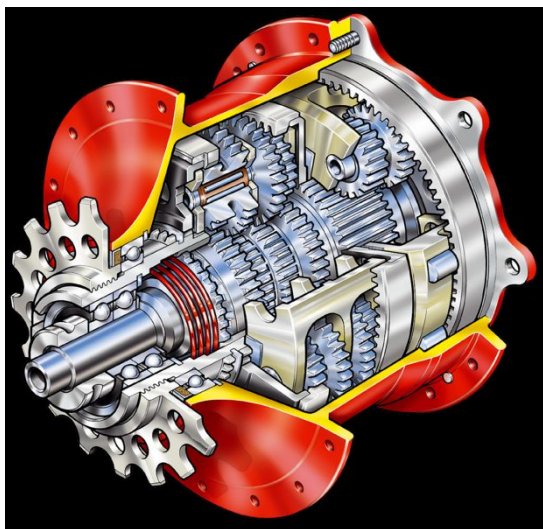


# Лекція 2

## УЗГОДЖУВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ



## РОБОТА ГЕНЕРАТОРА НА НЕУЗГОДЖЕНЕ НАВАНТАЖЕННЯ

При відсутності відображення потужність  $P_H$ , передана в навантаження, має максимальне значення і дорівнює падаючій потужності  $P_{\text{пад}}$ . При неузгодженому навантаженні виділяюча в ній потужність  $P'_H$  зменшується на значення відбитої потужності  $P_{\text{отр}}$ :

$$P'_H = P_{\text{пад}} - P_{\text{отр}} = \frac{U^2_{\text{пад}}}{2 \cdot Z_B} - \frac{U^2_{\text{отр}}}{2 \cdot Z_B} = \frac{U^2_{\text{пад}}}{2 \cdot Z_B} \left( 1 - \frac{U^2_{\text{отр}}}{U^2_{\text{пад}}} \right) = P_{\text{пад}} (1 - \Gamma^2)$$

Звідси випливає:

При узгодженні ( $\Gamma = 0$ ) потужність максимальна

$$P'_H = P_{\text{max}} = P_{\text{пад}} = \frac{U^2_{\text{пад}}}{2 \cdot Z_B}$$

2) При  $\Gamma \neq 0$  навантаження неузгоджене з лінією і потужність, яка надходить в навантаження

$$P'_H = P_{\text{пад}} (1 - \Gamma^2)$$



## ПРОБИВНА МІЦНІСТЬ ЛІНІЇ ПРИ НЕУЗГОДЖЕНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Для оцінки впливу неузгодженості на виникнення пробією необхідно врахувати, що пробій виникає в режимі, коли напруженість поля  $E$  в максимумі стоячої хвилі стає рівним пробивній напруженості. Для еквівалентної довгої лінії умова записується через напругу у вигляді

$$|\dot{U}|_{max} = U_{проб}$$

Так як

$$|\dot{U}|_{max} = |\dot{U}_{пад}|(1 + |\Gamma|)$$

то

$$U_{проб} = |\dot{U}_{пад}|_{проб}(1 + |\Gamma|)$$

Звідси

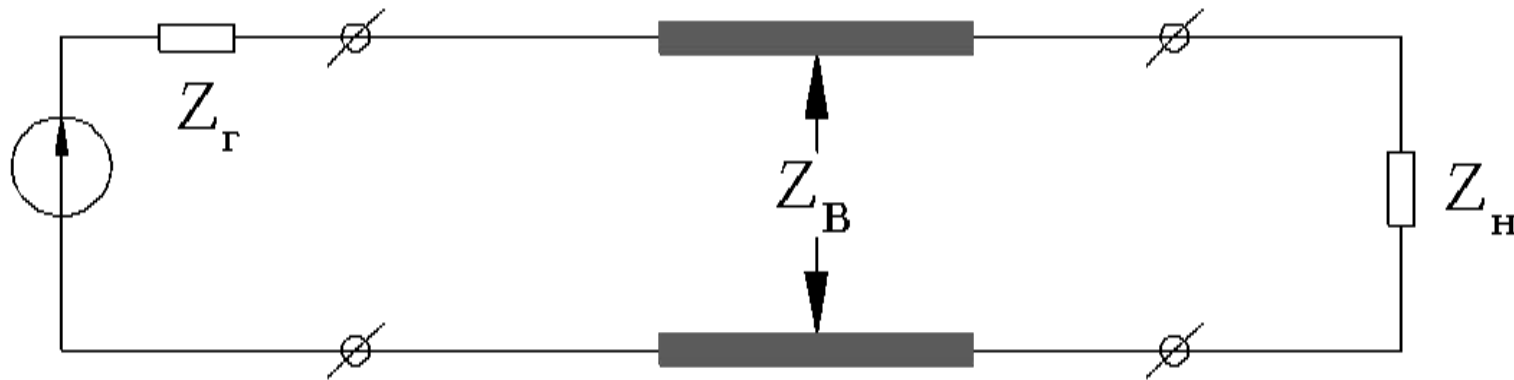
$$|\dot{U}_{пад}|_{проб} = \frac{U_{проб}}{1 + |\Gamma|}$$

тобто амплітуда напруги падаючої хвилі, при якій в лінії настає пробій, зменшується при неузгодженому навантаженні пропорційно  $\frac{1}{1+|\Gamma|}$

# СПРЯЖАНЕ УЗГОДЖЕННЯ

Під узгодженням прийнято розуміти умови, при яких передається максимальна потужність від генератора в навантаження через передавальну лінію. При цьому вважають, що втрати в лінії передач малі і не впливають на узгодження.

Повна передача енергії генератора за допомогою лінії з хвильовим опором  $Z_B$  в навантаження з опором  $Z_H$  відбувається за умови узгодження лінії з генератором  $Z_G = Z_B$  і лінії з навантаженням  $Z_H = Z_B$ .

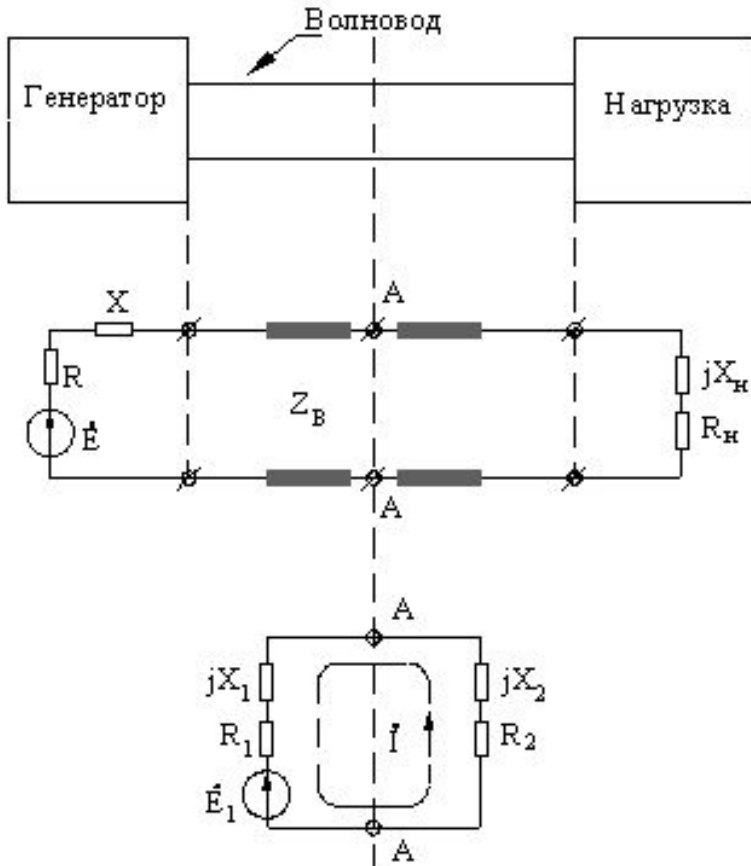


У разі, коли генератор не узгоджений з передавальною лінією, тобто  $Z_G \neq Z_B$ , максимум переданої потужності досягається при іншій величині опору навантаження. Цей режим отримав назву спряженого узгодження.



# СПРЯЖАНЕ УЗГОДЖЕННЯ

Розглянемо найпростіший СВЧ ланцюг і її еквівалентну схему в довільному перетині лінії передачі, яка показана на рис. 1.



Через  $Z_1 = R_1 + jX_1$  позначено вхідний опір лінії в сторону до генератора;

під  $Z_2 = R_2 + jX_2$  - вхідний опір лінії в сторону до навантаження

Амплітуда струму в ланцюзі дорівнює

$$I = \frac{\dot{E}_1}{|Z_1 + Z_2|} = \frac{\dot{E}_1}{|(R_1 + jX_1) + (R_2 + jX_2)|} = \frac{\dot{E}_1}{|(R_1 + R_2) + j(X_1 + X_2)|} = \frac{\dot{E}_1}{\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}}$$

Активна потужність, що виділяється в ланцюзі навантаження

$$P_2 = \frac{1}{2} |I|^2 R_2 = \frac{1}{2} \frac{|\dot{E}_1|^2 R_2}{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}$$

Передача максимальної потужності в навантаження при варіації опорів

$R_2$  і  $X_2$  визначається із звичайних умов

$$\frac{\partial P_2}{\partial R_2} = 0 \quad \text{и} \quad \frac{\partial P_2}{\partial X_2} = 0$$

Виконавши прості перетворення, отримаємо:

$$R_2 = R_1, \quad \text{а} \quad X_2 = -X_1$$



Таким чином, вхідний опір навантаження в перетин А-А, необхідний для передачі максимальної потужності, має бути комплексно зв'язаний з величиною вхідного опору генератора, перерахованого в той же перетин:

$$Z_2 = Z_1^*$$

У цьому випадку, потужність, що передається в навантаження, визначається виразом:

$$P_{2\max} = \frac{1}{2} \frac{|E_1|^2 R_2}{(2R_2)^2} = \frac{|E_1|^2}{8R_2}$$



# Розподілення погоджувального ланцюга

Для отримання погодження в лініях передачі у розсічку передавальної лінії повинен бути включений узгоджувальний чотириполюсник, як показано на рис. 2.

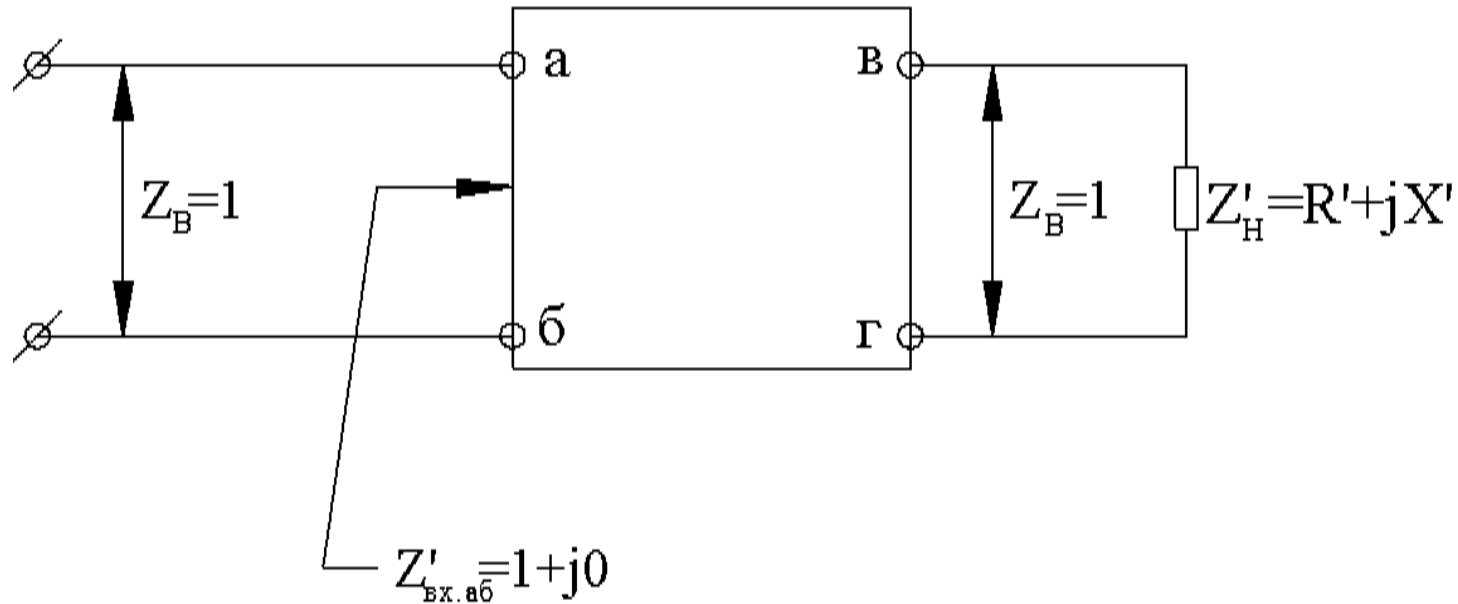


Рис. 2

Призначенням цього 4х-полюсника є трансформація активного і реактивного опору навантаження з перетину в-г в перетин а-б до величини

$$\dot{Z}'_{вх.аб} = 1 + j0$$

Подібні 4х-полюсники називаються трансформаторами повних опорів, виконуються на відрізках ліній передачі.

# ЧЕТВЕРТЬХВИЛЬОВИЙ ТРАНСФОРМАТОР

У загальному випадку

$$Z_{\text{ВХ}} = Z_{\text{В}} \frac{Z_{\text{Н}} + jZ_{\text{В}} \operatorname{tg} \beta l}{Z_{\text{В}} + jZ_{\text{Н}} \operatorname{tg} \beta l}, \beta = \frac{2\pi}{\lambda_{\text{Л}}}$$

ЯКЩО

$$l = \frac{\lambda_{\text{Л}}}{4}, \text{ то}$$

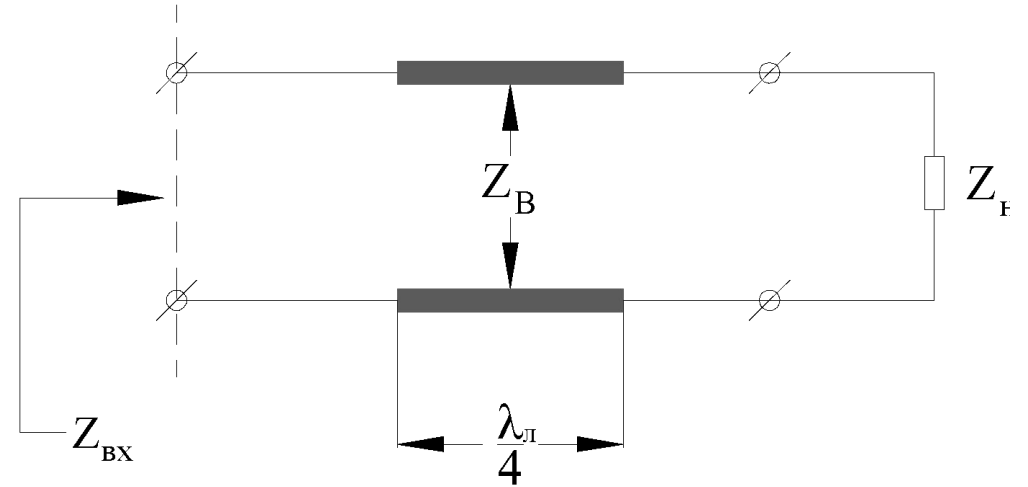
$Z_{\text{ВХ}} = \frac{Z_{\text{В}}^2}{Z_{\text{Н}}}$  - рівняння чвертьхвильового трансформатора.

Умова узгодження

$$Z_{\text{В.тр}} = \sqrt{Z_{\text{ВХ}} \cdot Z_{\text{Н}}}$$

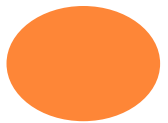
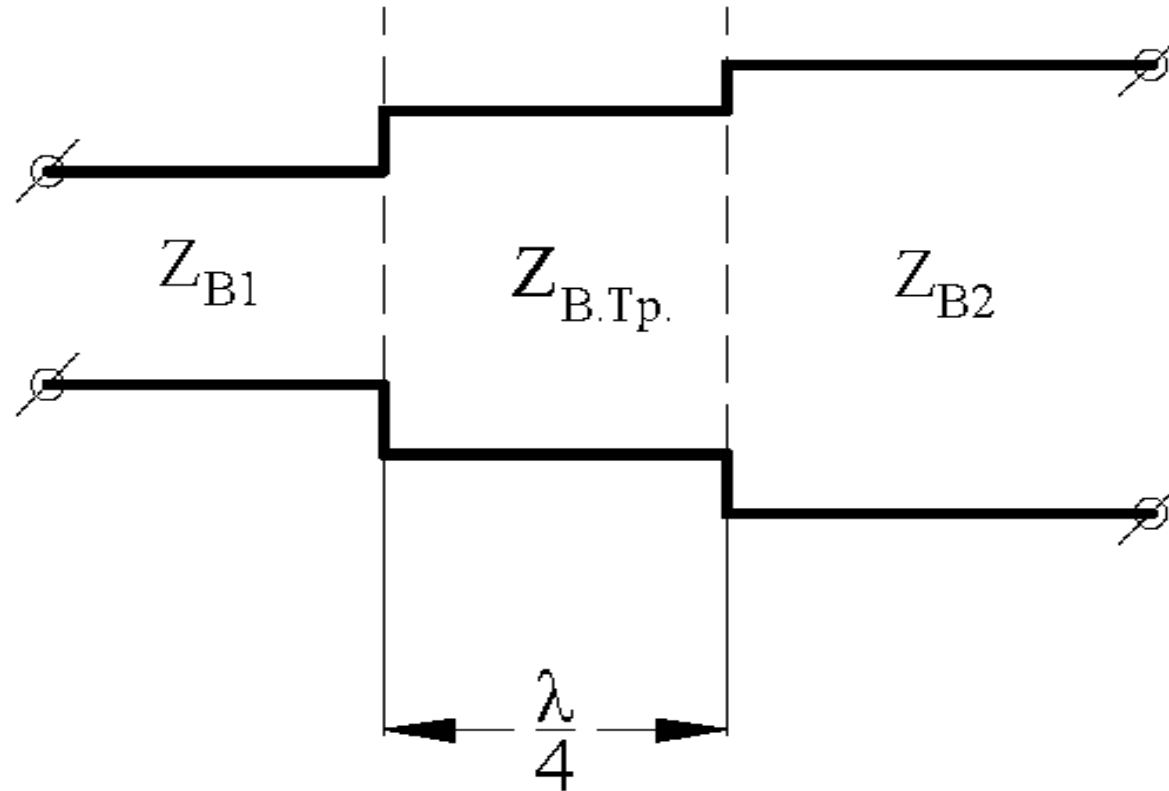
Якщо необхідно узгодити дві лінії передачі з різними хвильовими опорами  $Z_{\text{В1}}$  і  $Z_{\text{В2}}$ , то

$$Z_{\text{В.тр}} = \sqrt{Z_{\text{В1}} \cdot Z_{\text{В2}}}$$





На практиці чвертьхвильові трансформатори застосовують зазвичай для узгодження чисто активних опорів. Певні обмеження на використання: чвертьхвильових трансформаторів накладають умови фізичної можливості для реалізації лінії заданими хвильовими опорами. Наприклад, в МПЛ важко виконати трансформатор як при великих хвильових опорах ( $> 100 \text{ Ом}$ ), так і при малих ( $< 20 \text{ Ом}$ ).



# ТРАНСФОРМАТОР НА ОСНОВІ ЗОСЕРЕДЖЕНОЇ РЕАКТИВНОСТІ

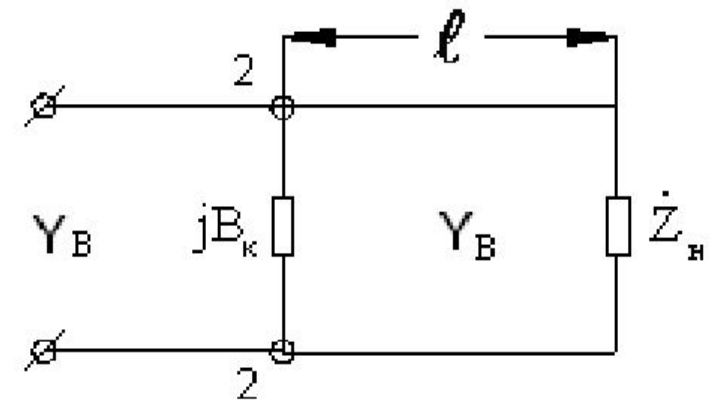
Алгоритм розрахунку узгоджувального 4х - полюсника.

1. Визначаємо комплексний коефіцієнт відбиття в площині навантаження

$$\dot{\Gamma}_H = \frac{\dot{Z}_H - Z_B}{\dot{Z}_H + Z_B} = \frac{\dot{Z}_H - 1}{\dot{Z}_H + 1} = \Gamma_H e^{j\psi_H}$$

$$\Gamma_H = \sqrt{\frac{[\operatorname{Re}(Z_H) - 1]^2 + [\operatorname{Im}(Z_H)]^2}{[\operatorname{Re}(Z_H) + 1]^2 + [\operatorname{Im}(Z_H)]^2}}$$

$$\psi_H = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Re}(Z_H) - 1}{\operatorname{Im}(Z_H)} - \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Re}(Z_H) + 1}{\operatorname{Im}(Z_H)}$$



2. Перерахуємо коефіцієнт відображення з площини навантаження в площину 2-2, що знаходиться на відстані 1 від навантаження.

$$\dot{\Gamma}_{H2} = \dot{\Gamma}_H e^{j2\beta l} = \dot{\Gamma}_H e^{j(\psi_H - 2\beta l)}$$



# 1. Визначаємо провідність в площині 2-2

$$\dot{Y}_{H2} \text{ `} = \frac{1 - \dot{\Gamma}_{H2}}{1 + \dot{\Gamma}_{H2}} = \frac{1 - \Gamma_H e^{j(\psi_H - 2\beta l)}}{1 + \Gamma_H e^{j(\psi_H - 2\beta l)}} = |(\psi_H - 2\beta l = \theta)| = \frac{1 - \Gamma_H e^{j\theta}}{1 + \Gamma_H e^{j\theta}} = \frac{(1 - \Gamma_H \cos \theta) - j\Gamma_H \sin \theta}{(1 + \Gamma_H \cos \theta) + j\Gamma_H \sin \theta} =$$

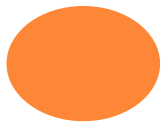
$$= \left| \begin{array}{l} 1 - \Gamma_H \cos \theta = g_1 \\ \Gamma_H \sin \theta = b_1 \\ 1 + \Gamma_H \cos \theta = g_2 \end{array} \right| = \frac{g_1 - jb_1}{g_2 + jb_1} = \frac{(g_1 - jb_1)(g_2 + jb_1)}{g_2^2 + b_1^2} = \frac{g_1 g_2 - b_1^2}{g_2^2 + b_1^2} + j \frac{-b_1 g_2 - g_1 b_1}{g_2^2 + b_1^2} =$$

$$= \frac{g_1 g_2 - b_1^2}{g_2^2 + b_1^2} - j \frac{b_1(g_2 + g_1)}{g_2^2 + b_1^2};$$

$$\dot{G}_{H2} \text{ `} = \text{Re}(\dot{Y}_{H2} \text{ `}) = \frac{g_1 g_2 - b_1^2}{g_2^2 + b_1^2} = \frac{(1 - \Gamma_H \cos \theta)(1 + \Gamma_H \cos \theta) - \Gamma_H^2 \sin^2 \theta}{(1 - \Gamma_H \cos \theta)^2 + \Gamma_H^2 \sin^2 \theta} =$$

$$= \frac{1 - \Gamma_H^2 \cos^2 \theta - \Gamma_H^2 \sin^2 \theta}{1 + \Gamma_H \cos \theta + \Gamma_H^2 \cos^2 \theta + \Gamma_H^2 \sin^2 \theta} = \frac{1 - \Gamma_H^2}{1 + \Gamma_H^2 + 2\Gamma_H \cos \theta};$$

$$\dot{B}_{H2} \text{ `} = \text{Im}(\dot{Y}_{H2} \text{ `}) = -\frac{b_1(g_2 + g_1)}{g_2^2 + b_1^2} = \frac{\Gamma_H \sin \theta (1 + \Gamma_H \cos \theta + 1 - \Gamma_H \cos \theta)}{1 + \Gamma_H^2 + 2\Gamma_H \cos \theta} = -\frac{2\Gamma_H \sin \theta}{1 + \Gamma_H^2 + 2\Gamma_H \cos \theta}$$



Схема, приведена до площини 2-2 має вигляд, показаний на рис.3.

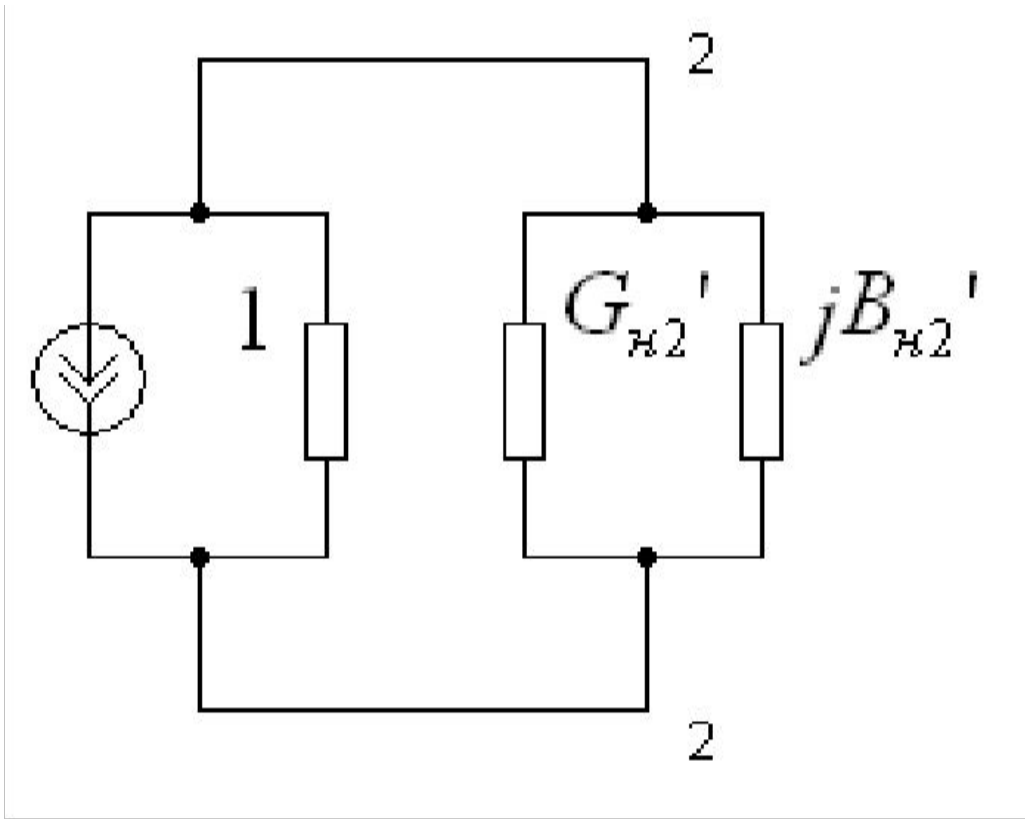


Рис. 3

1. Умова узгодження записується у вигляді  $\dot{G}_{H2}' = 1$  або  $\frac{1-\Gamma_H^2}{1+\Gamma_H^2+2\Gamma_H \cos \theta} = 1$



Вирішимо це рівняння відносно  $l$ :

$$1 - \Gamma_{\text{н}}^2 = 1 + \Gamma_{\text{н}}^2 + 2\Gamma_{\text{н}} \cos \theta$$

$$-2\Gamma_{\text{н}}^2 = 2\Gamma_{\text{н}} \cos(\psi_{\text{н}} - 2\beta l)$$

$$-\Gamma_{\text{н}}^2 = \Gamma_{\text{н}} \cos(\psi_{\text{н}} - 2\beta l)$$

$$\psi_{\text{н}} - 2\beta l = \arccos(-\Gamma_{\text{н}})$$

$$2\beta l = \psi_{\text{н}} - \arccos(-\Gamma_{\text{н}})$$

$$l = \frac{1}{2\beta} [\psi_{\text{н}} - \arccos(-\Gamma_{\text{н}})]$$

Визначаємо  $\text{Im}(\dot{Y}_{\text{н2}})$  при  $l = \frac{1}{2\beta} [\psi_{\text{н}} - \arccos(-\Gamma_{\text{н}})]$

Замість реактивності  $j\beta_{\text{к}}$  можна підключати К.З. шлейф (або Х.Х. шлейф, в залежності від типу лінії передачі). Наприклад, в МПЛ зручніше конструктивно і технологічно застосовувати Х.Х. шлейфи.

Знаходимо величину, і знак компенсує реактивності:

$$B_{\text{к}} = -\text{Im}[\dot{Y}_{\text{н2}}(w_0, l)]$$



## ЗНАЙДЕНІ ПАРАМЕТРИ

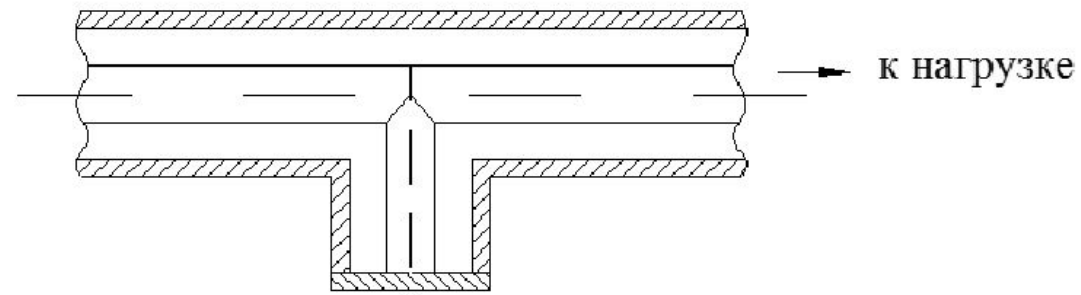
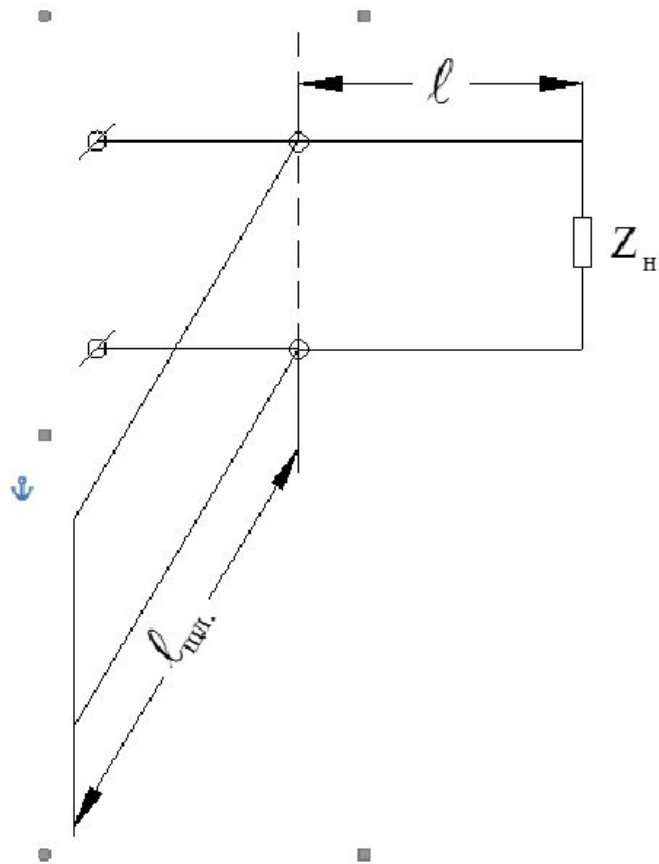
$$l = k\lambda$$

$$B' = \frac{B}{Y_B};$$

$$B = B' Y_B = \frac{B'}{Z_B}$$



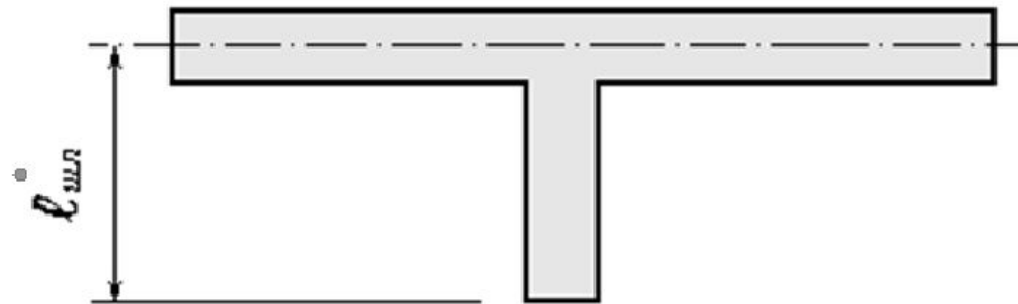
# КОНСТРУКТОРСКА РЕАЛІЗАЦІЯ УЗГОДЖУВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ НА ОСНОВІ ЗОСЕРЕДЖЕНОЇ РЕАКТИВНОСТІ



конструкция коаксиального шлейфа

$$\dot{Y}_{\text{ex.KZ}} = -jY_B \text{ctg } \beta l_{\text{шл.}}$$

$$\dot{Y}_{\text{ex.XX}} = jY_B \text{tg } \beta l_{\text{шл.}}$$



топология шлейфа Х.Х. в МПЛ исполнении

