

Matière : Réseaux de transport et de
distribution de l'énergie
électrique

Master 1 : Energies Renouvelables en
Electrotechnique.

Année universitaire : 2019 / 2020.

le 17/12/2019

Transport et distribution de l'énergie électrique

Chapitre 01 : Architecture des réseaux électriques

1) Introduction

Le principe du transport et la distribution de l'énergie électrique c'est d'assurer le mouvement de cette énergie active (P) et réactive (Q) produite aux niveaux des centrales vers les consommateurs.

$$P \leq 250 \text{ MW} \Rightarrow U_n \leq 12 \text{ kV.}$$

$$P = 600 \div 1400 \text{ kW} \Rightarrow U_n = 20 \div 27 \text{ kV.}$$

$$P = \sqrt{3} U I \cos \varphi \Rightarrow I = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \varphi}$$

$$I = \frac{250 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 12 \cdot 0,8} = 15 \times 10^3 \text{ A.}$$

$$U = 220 \text{ kV} \Rightarrow I = \frac{250 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \times 220 \times 0,8} = 820 \text{ A} < 1000 \text{ A}$$

acceptable

Le transport d'énergie est assuré par des lignes aériennes ou des lignes en câbles, la liaison entre les centrales de production et les consommateurs est faite par des postes électriques et les lignes en question.

Selon la définition de la Commission Electrotechnique internationale (CIE) un poste électrique est la partie d'un réseau électrique situé en un même lieu comprenant principalement les extrémités des lignes de transport ou de distribution, de l'appareillage électrique, des bâtiments, et éventuellement des transformateurs de puissance.

un poste électrique est donc un élément du réseau électrique servant à la fois à la transmission, et à la distribution de l'électricité, il permet d'élever la tension électrique puis la redescendre en vue de sa consommation par des utilisateurs (particuliers, ou industrielles)

les postes électriques se trouve entre les extrémités des lignes de transmission, ou de distribution (les sous-stations).

2) il existe plusieurs types de postes électriques

⊕ postes de sortie de la centrale

le but de ces postes est de raccorder une centrale électrique de production au réseau (transport, de distribution, de répartition).

⊕ postes d'interconnexion

le but de ces postes est d'interconnecter plusieurs lignes électriques en HTB ($U > 50kV$) 2

④ postes élévateurs

Le but de ces postes est de monter le Niveau de tension à l'aide des transformateurs et cela pour assurer la liaison, entre les différents niveaux de tension à savoir la puissance voulue.

⑤ postes de distribution (abaisseur)

Le but de ces postes est d'abaisser le niveau de tension pour distribuer l'énergie électrique au clients résidentiels et industriels.

3) différents types de réseaux électriques

Les réseaux électriques sont partagés en (03) trois Types :

1) réseaux de transport et d'interconnexion

Les réseaux de transport et d'interconnexion ont principalement pour mission :

- * de collecter l'électricité produite par les centrales importantes et de l'acheminer par grand flux vers les zones de consommation (Fonction transport)

- * de permettre une exploitation économique, et sûres des moyens de production, en assurant une compensation des différents aléas (Fonction Interconnexion).

- * les tensions sont : 110 kV, 220 kV, et actuellement 420 kV → (une grande partie)

* Neutre directement mis à la terre.

* Réseau maillé (plus d'une boucle) national, ou international.

2) Réseau de répartition

Le réseau de répartition, ou réseau de HT ont pour rôle de répartir (au niveau régional) l'énergie issue du réseau de transport, leur tension est supérieur à **63 kV** selon le régime. Ces réseaux sont en grande partie constitués de lignes sérieuses dont chacune peut transiter plus de 60 MVA sur des distances de quelques dizaine de kilomètres, leurs structures est soit en boucle fermée, soit le plus souvent en boucle ouverte, mais peut aussi se terminer en antenne au niveau de certains postes de transformation.

En zone urbaine dense ces réseaux peuvent être sur des longueurs n'excèdent pas quelques dizaine de kilomètre.

Ces réseaux alimentent d'une part les réseaux de distribution à travers des postes de transformation HT/MT et d'autre part les utilisateurs industriels dont la taille (supérieur à 60 MVA) nécessite un raccordement à cette tension.

* Les tensions utilisées sont 90 kV et 63 kV

* neutre est mise à la terre à travers une

réactance (bobine).

* limitation du courant du neutre est 1500 A pour 90 KV.

limitation du courant du neutre est 1000 A pour 63 KV.

* Structure de réseau de répartition soit en boucle fermée, ou ouverte.

Chapitre I Architectures des réseaux électriques de distribution MT

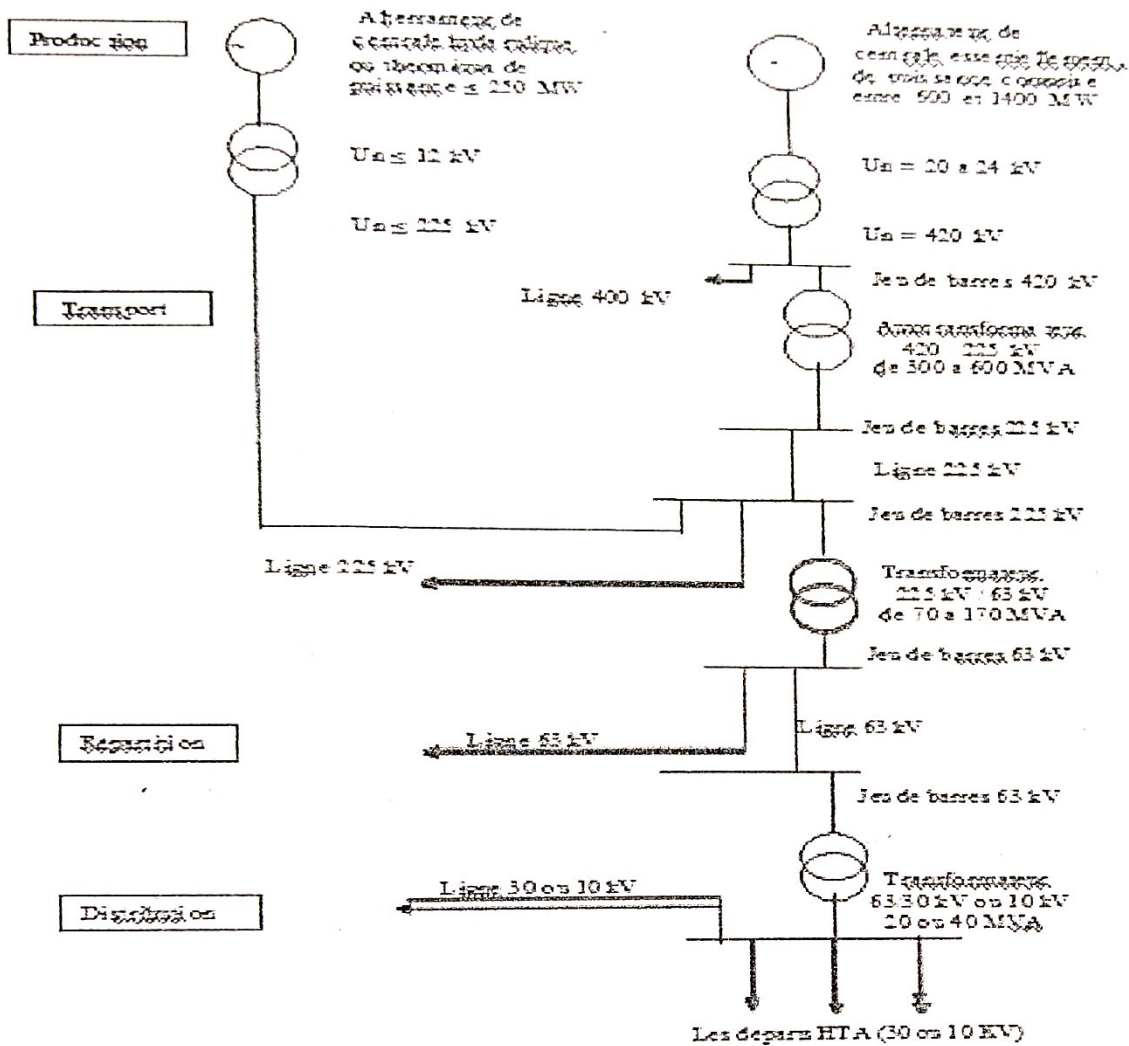


Fig. I.1 - Architecture générale de réseaux d'énergie électrique en Algérie.

3) Réseau de distribution

Le réseau de distribution commence à partir des tensions inférieures à 63 kV et des postes de transformations HTB/HTA avec l'aide des lignes ou de câble moyenne tension jusqu'au poste HTA/HTA en zone urbaine, et puis de poste HTA/BTA.

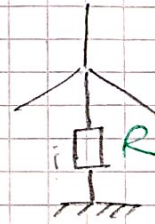
Constitue le dernier maillon de la chaîne de distribution, et se concerne tous les usagers du courant électrique.

le 07/01/2020

Réseaux de distribution à MT ou HTA.

Les réseaux le plus répandus à MT sont 30 kV en aérien et 10 kV sous-terrain (norme Sautelgas). Le neutre est mis à la terre à travers une résistance.

3000 A réseaux aérien
1000 A " sous-terrain



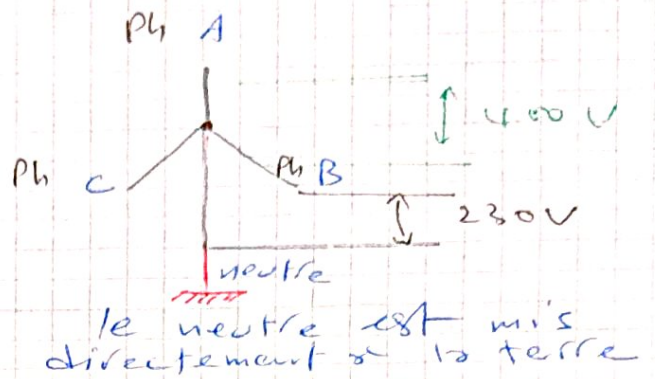
La limitation du courant est 3000 A pour les réseaux aérien et 1000 A pour les réseaux sous-terrain.

La structure des réseaux de distribution de MT est en boucle ouverte réseaux sous-terrain et radial avec quelque bouclage pour le réseau aérien.

Réseaux de distribution BT (BTA) (230/400V)

$$U_c = 2\sqrt{3} V$$

\swarrow 400V
 \searrow 230V



la structure des réseaux de distribution BT est soit radial, bouclée ou maillée

les nouvelles normes utilisées par SONELGAS sont :

Domaines de tension		valeurs de la tension composée nominale	
		tension Alternatif AC	tension continue DC
très basse tension		$U_n \leq 50V$	$U_n \leq 120V$
Basse tension BT	BTA	$50 \leq U \leq 1000V$	$120 \leq U \leq 750V$
	BTB	$500V \leq U \leq 1000V$	$750 < U \leq 1500V$
Haute tension HT	HTA	$1000 \leq U_n \leq 10.000V$	$1500 < U \leq 7500V$
	HTB	$U_n > 10000V$	$U_n > 7500V$

BT $\leq 1000V$.

HT $1000V < U_n \leq 30.000V$.

HT $30.000 < U_n \leq 150.000V$.

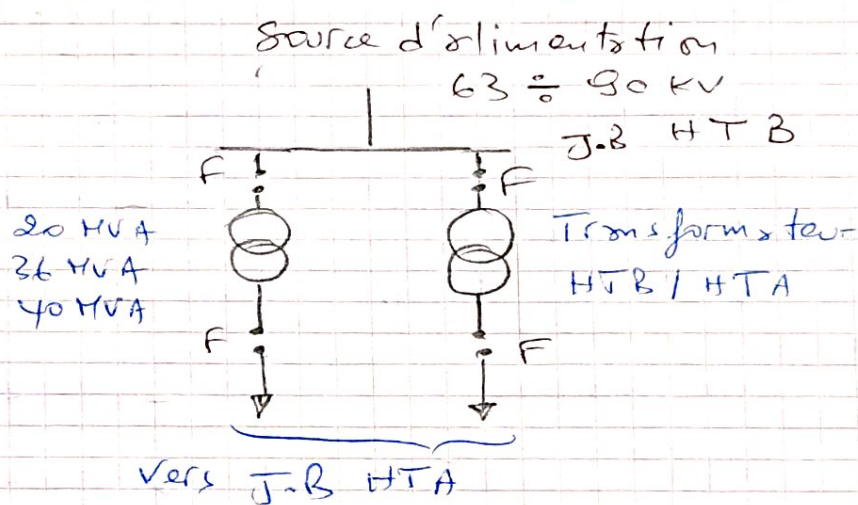
THT $150.000V < U_n \leq 1250.10^3V$.

TBT : trois types de tension de TBT.
 TBTS : " basse tension de sécurité
 TBTP : " " " " protection
 TBTF : " " " " fonctionnement

Architecture des postes de livraison HTB

- ils concernent généralement les puissances supérieures à 10 MVA l'installation de ce type de poste est comprise entre d'une part le point de raccordement au réseau de distribution HTB et d'autre part la borne aval du ou des transformateurs HTB/HTA
- les schémas électriques des postes de livraison HTB les plus répandus sont :

1) Simple Antenne



Mode d'exploitation

* en régime normale.

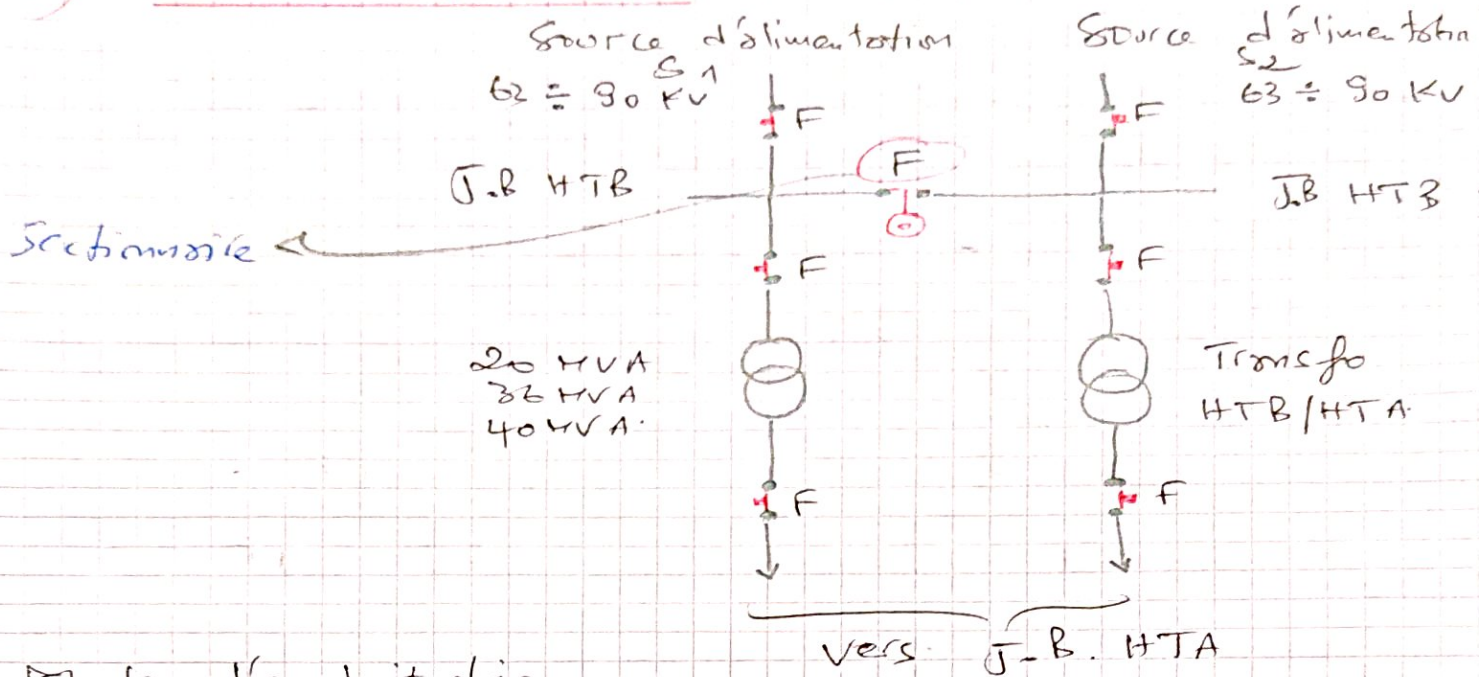
les transformateurs HTB/HTA sont alimentés par un seul J.B HTB en régime

* en régime perturbé

en cas de perte de la source d'alimentation les transformateurs HTB/HTA sont mis hors service

- L'avantage de ce type est le coût minimal
- L'inconvénient : faible disponibilité de courant

2) double Antenne



Mode d'exploitation
en régime normal

les deux disjoncteurs d'arrivées des sources sont fermés ainsi que le sectionnaire de couplage.

les Transformateurs HTB/HTA sont donc alimentés par les deux sources simultanément.

en régime perturbé

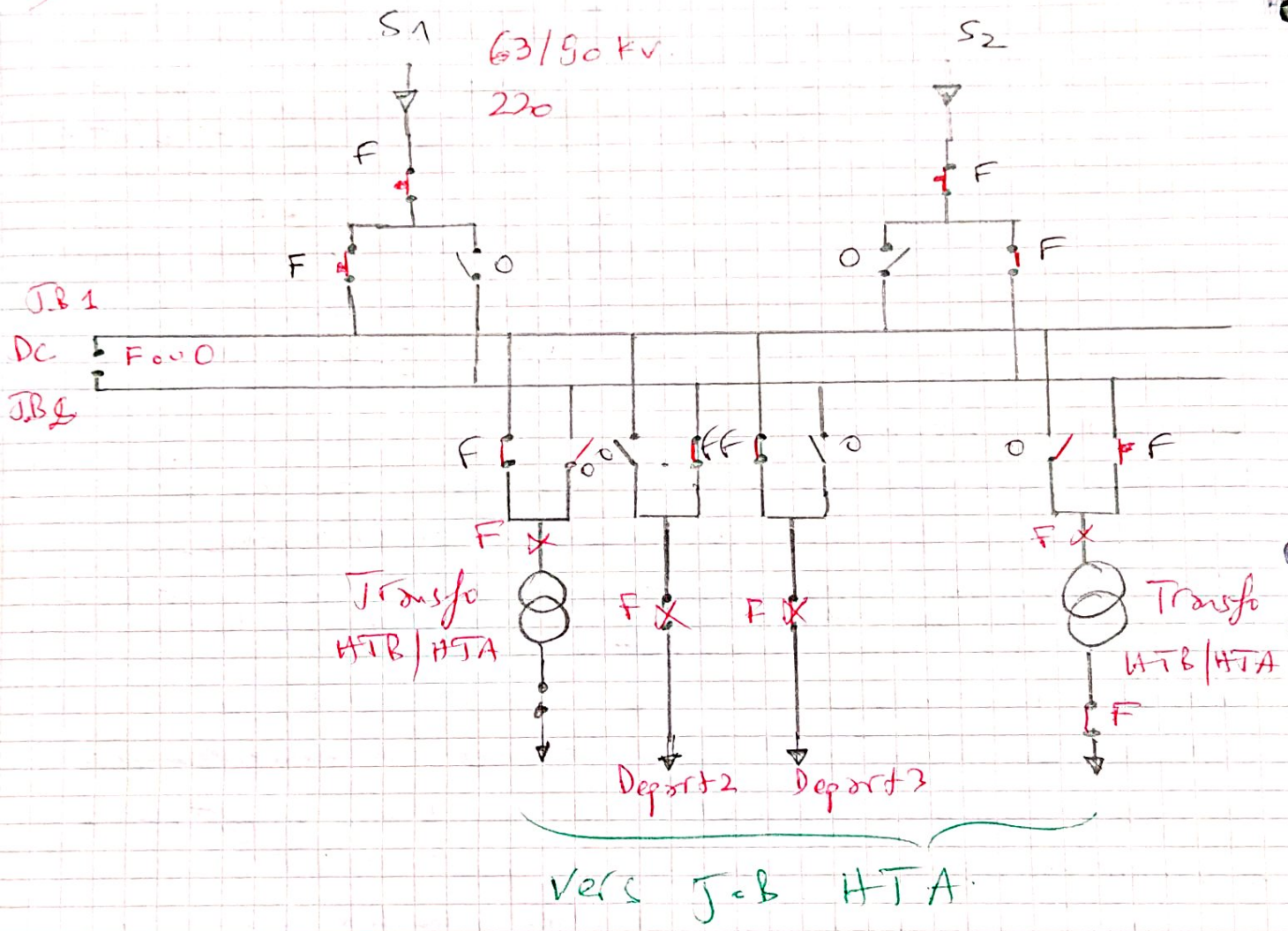
en cas de perte d'une source d'alimentation, l'autre source prend la totalité de l'alimentation.

* Avantages :

- Bonne disponibilité d'alimentation dans la mesure où chaque source peut alimenter la totalité du réseau.

- Maintenance possible du J.B HTB avec un fonctionnement partiel.
- * Inconvénients
 - Solution la plus coûteuse par rapport à l'alimentation simple Antenne.
 - Ne permet qu'un fonctionnement partiel du J.B HTB en cas de sa maintenance.

3) Double antenne avec Double J.B HTB.



Mode d'exploitation.

En regime normal

- * la source 01 alimente le Job 1 et le poste de Transformation 1 et le départ HTB 3
HTB/HTA 1
- * la source 02 alimente le poste HTB/HTA 4 et le départ HTB 2.

En regime perturbé

- En cas de perte d'une source, l'autre source assure la totalité d'alimentation.
- en cas de défaut sur un Job HTB (ou en cas de sa maintenance), le disjoncteur de couplage DC est ouvert et l'autre Job alimente la totalité du départ.

avantages :

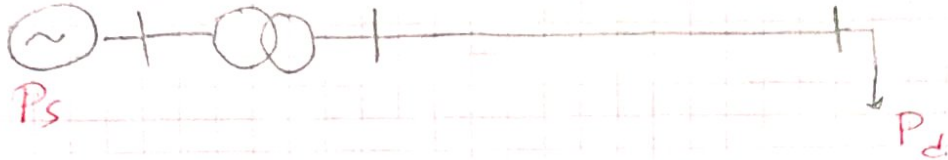
- Bonne disponibilité d'alimentation.
- très grande souplesse d'utilisation pour l'affectation des sources et des charges et pour la maintenance des J.B.
- possibilité de transfert de J.B. sans coupure (lorsque les J.B. sont couplés, il est possible de manoeuvrer un sectionnaire si son sectionnaire adjacent est fermé)

Inconvénients :

- Variante très coûteuse par rapport à la solution simple interne.

10 14/01/2020

calcul des paramètres des lignes électriques :



$$\eta \% = \frac{P_d}{P_s} \times 100$$

$$\eta \% = \frac{P_d}{P_d + \Delta P} \times 100$$

P_d : puissance délivrée

P_s : " produite

ΔP : les pertes de puissance

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

$$X_L = L \cdot \omega$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_m}{D_s}$$

$$C = \frac{2\pi \epsilon_0}{\ln \frac{D_m}{D_s}}$$

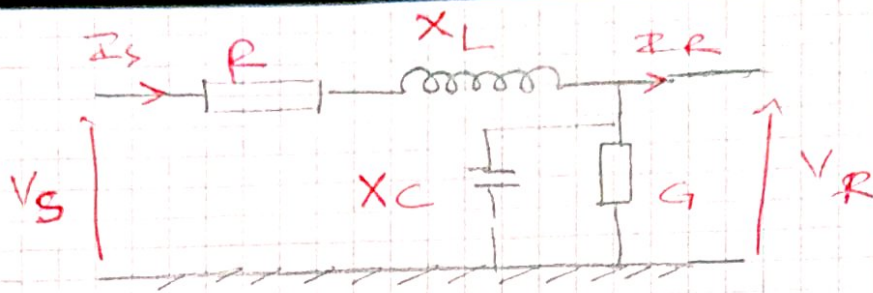
$$G = \frac{1}{R}$$

R → résistance

X_L → Réactance Inductive

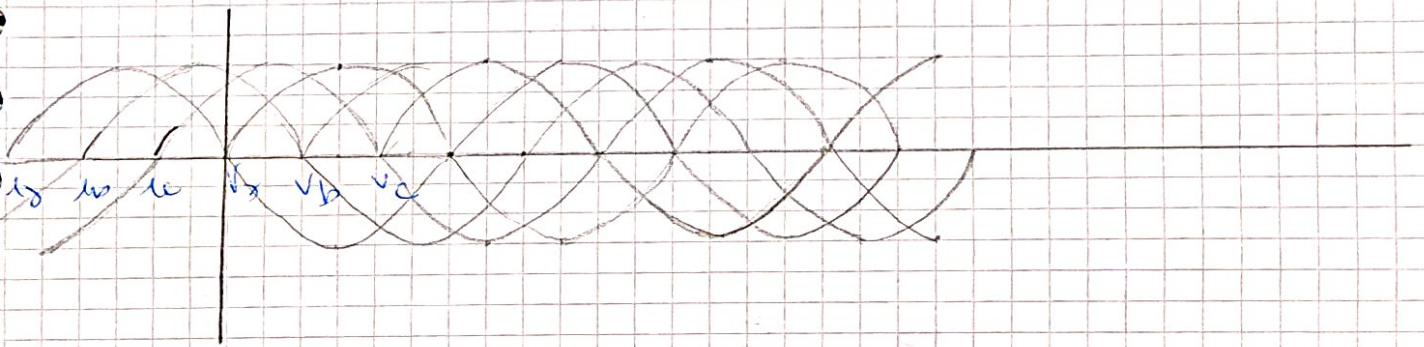
X_C → " capacitive

G → conductance



Représentation d'une ligne électrique

une ligne de transmission électrique est généralement composée de plusieurs conducteurs triphasés qui transmettent une puissance la ou elle est produite (transformée) vers les consommateurs elle est composée généralement de quatre paramètres électriques, une résistance et une réactance inductive qui sont placées en série et une réactance capacitive et une conductance qui sont placées en // dans un schéma équivalent de la ligne. la tension et le courant qui circulent dans cette ligne varie sinusoidalement le long de la ligne.



$$\omega = 2\pi f$$

$$f = \frac{1}{T} = 50 \text{ Hz}$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{50} = 6 \cdot 10^6 \text{ m.}$$

$$= 6000 \text{ km.}$$

$$\lambda f = v$$

v : la vitesse

$$v = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s.}$$

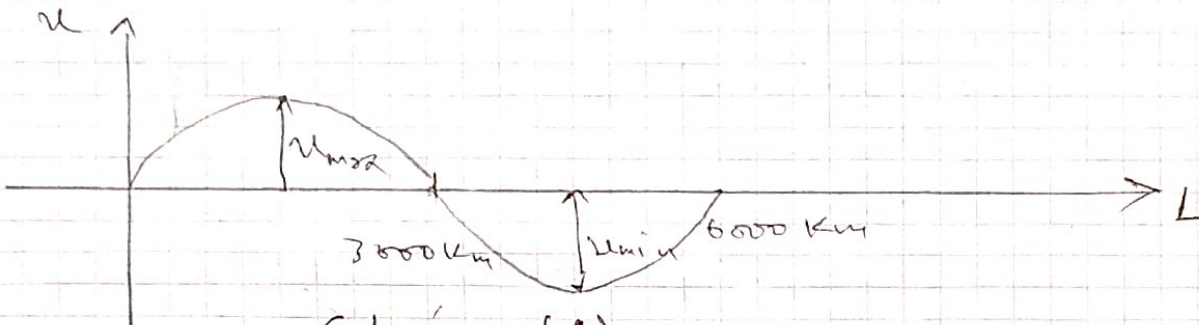


Schéma (1)

Cela veut dire que si la longueur de la ligne est de 6000 km la tension et le courant qui traversent cette ligne aux deux extrémités ont la forme suivante (1)

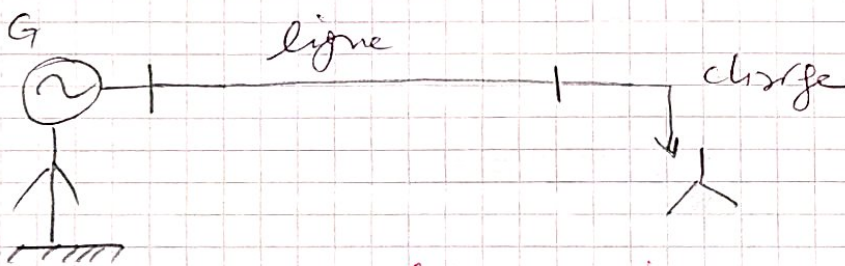


Schéma unifilaire d'un réseau

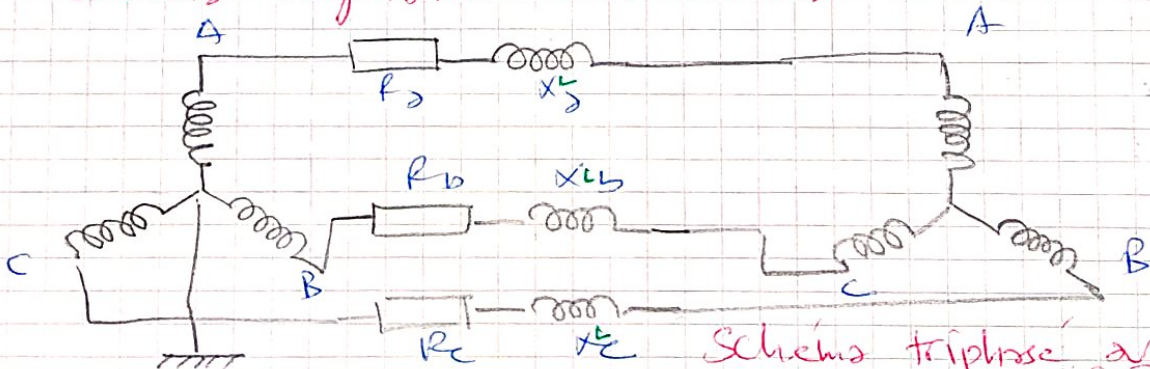
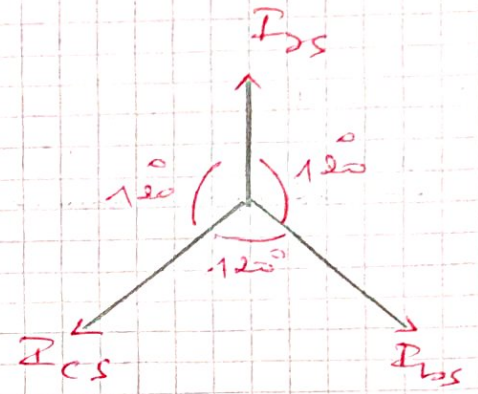
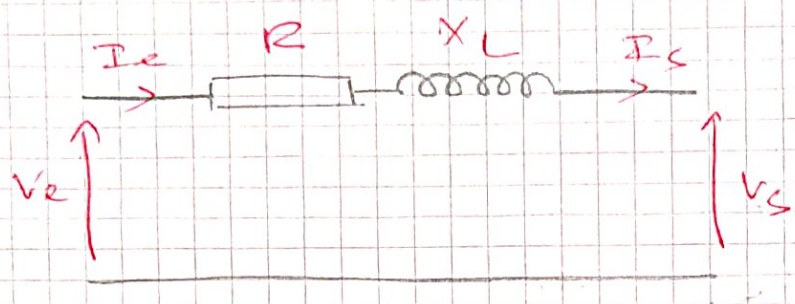


Schéma triphase avec 19 coupure

$R_a \neq R_b \neq R_c$
 $X_a \neq X_b \neq X_c$ } un système déséquilibré
 on considère que le système est équilibré
 $R_a = R_b = R_c$
 $X_a = X_b = X_c$



$S \Rightarrow I_a + I_b + I_c = 0$

Donc si on considère que notre système est équilibré

$\vec{U}_a + \vec{U}_b + \vec{U}_c = 0$
 $I_a + I_b + I_c = 0$

on peut analyser un système triphasé (équilibré) comme un système monophasé qui peut être représenté par la figure suivante :

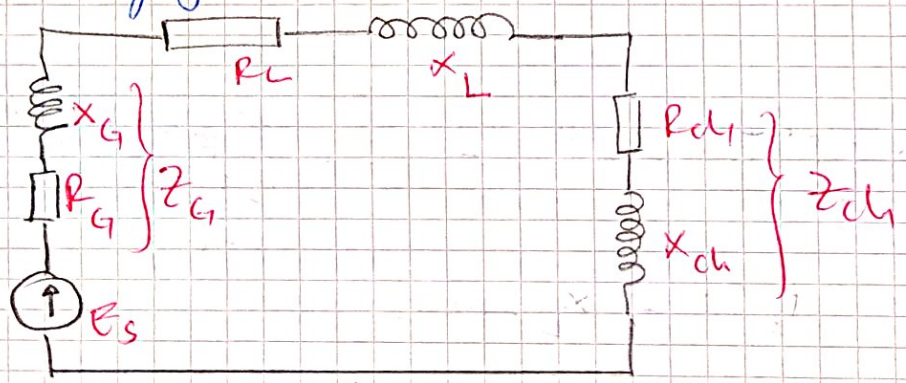


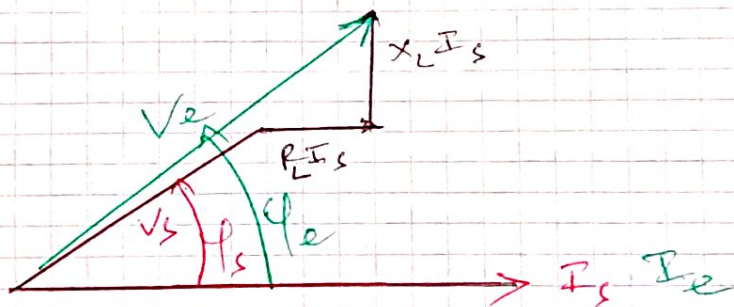
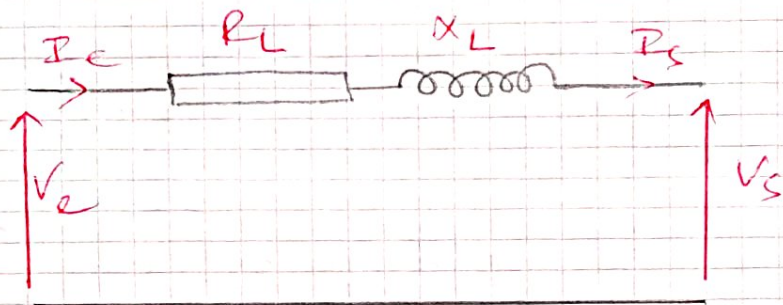
Schéma équivalent monophasé

les lignes de transmission électriques sont partagés en trois (03) Types et cela en fonction de leurs longueurs

- * les lignes courtes $L \leq 80 \text{ km}$.
- * les lignes moyennes dont $80 < L < 160 \text{ km}$.
- * " " longues $L > 160 \text{ km}$

les lignes courtes

le schéma équivalent



$$V_e = V_s \sqrt{1 + \frac{2 I_s R \cos \phi_s}{V_s} + \frac{2 I_s X_L \sin \phi_s}{V_s} + \frac{I_s^2}{V_s^2} (R^2 + X_L^2)} \quad (*)$$

$$V_e = V_s + I_s R \cos \phi_s + I_s X_L \sin \phi_s$$

$$\Delta U \% = \frac{V_e - V_s}{V_s} \times 100$$

$$\eta \% = \frac{P_s}{P_e} \times 100$$

$$\eta = \frac{P_s}{P_s + \Delta P} \times 100$$

$$\Delta P = 3 R I_s^2 = 3 R I_e^2$$

- * $\Delta U \% \leq 5\%$ → transport et répartition
- + $\Delta U \% = 4 \div 7\%$ → Distribution HT.
- * $\Delta U \% = 11\%$ → Distribution BT Réseau Rural

$\Delta U \% = 1\%$ → du Japon.
A, B, C, D les constantes du réseau.

$$V_e = A V_s + B I_s$$

$$I_e = C V_s + D I_s$$

$$A = \frac{V_e}{V_s} \Big|_{I_s = 0}$$

A: c'est une cct quand le circuit de sortie est s'vide.

$$B = \frac{V_e}{I_s} \Big|_{V_s = 0}$$

B c'est une Impédance quand la sortie est court-circuité

B: L'impédance de transfert

$$C = \frac{I_e}{V_s} \Big|_{I_s = 0}$$

C : c'est une admittance quand le circuit de sortie est ouvert.

$$D = \frac{I_e}{I_s} \Big|_{V_s = 0}$$

D : c'est une CST quand le circuit de sortie est court-circuité.

$$AD - BC = 1$$

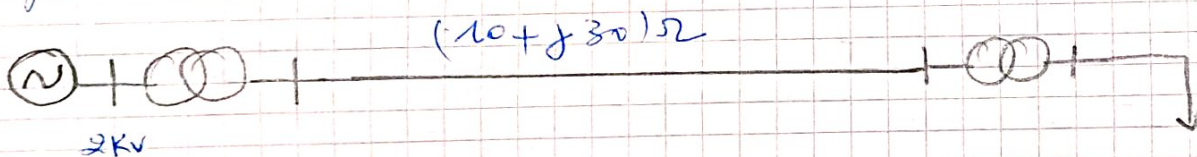
$$P_s = \sqrt{3} U_s I_s \cos \varphi_s$$

$$P_e = \sqrt{3} U_e I_e \cos \varphi_e$$

$$\Delta P = 3 R I_s^2$$

Exemple

Déterminer la tension qui doit être fournie par le générateur ainsi que le rendement en % de la ligne donné par le schéma suivant



$$2 / 11 \text{ KV}$$

$$r_p = 0,04 \Omega$$

$$x_p = 1,3 \Omega$$

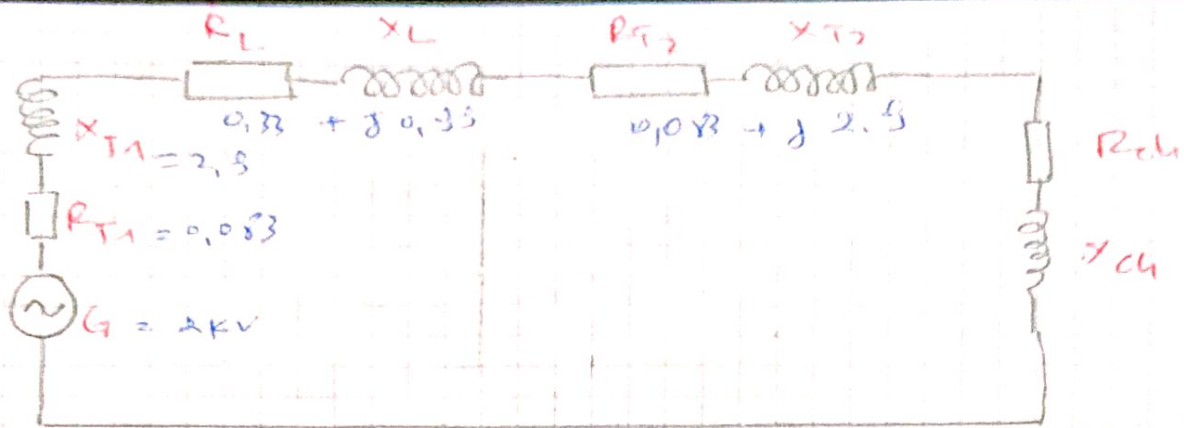
$$S_{ch} = 250 \text{ KVA}$$

$$U_s = 2 \text{ KV}$$

$$\cos \varphi = 0,8$$

$$R_s = 0,125 \Omega$$

$$X_s = 1,5 \Omega$$



$$Z_L = (10 + j 30) \rightarrow Z_L = 10 \left(\frac{2}{11} \right)^2 + j 30 \left(\frac{2}{11} \right)^2$$

$U = 11 \text{ kV} \qquad U = 2 \text{ kV}$

$$Z_L = 0,33 + j 0,99$$

$$R = (0,04 + 0,125) / 2 = 0,083$$

$$X = (1,3 + 4,5) / 2 = 2,9$$

$$I_S = \frac{S_{ab}}{U} = \frac{250 \cdot 10^3}{2 \times 10^3} = 125 \text{ A}$$

les pertes dans la ligne $\Delta P = R I_S^2$

$$R = R_{T1} + R_L + R_{T2}$$

$$R = 0,083 + 0,33 + 0,083 = 0,496 \Omega$$

$$\Delta P = 0,496 \times 120^2 = 7,1760 \text{ kW}$$

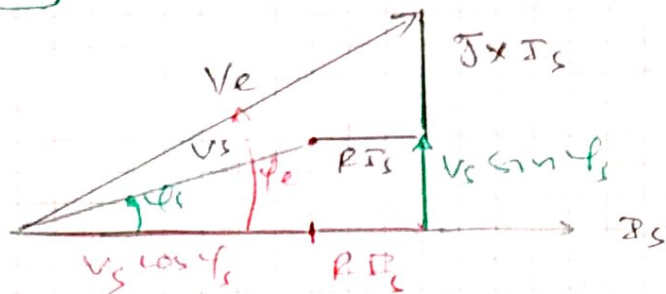
$$\Delta P = 7,1760 \text{ kW}$$

$$P = S_{ch} \cos \varphi = 250 \times 0,8 = 200 \text{ kW}$$

$$P = 200 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{P_S}{P_S + \Delta P} \times 100 = \frac{200}{200 + 7,175} = 96,27\%$$

$$\eta = 96,27\%$$



$$V_e = (V_s \cos \varphi_s + I_s R) + j (V_s \sin \varphi_s + I_s X)$$

$$2000 \times 0,8 + 125 \times 0,436 + j (2000 \times 0,6 + 125 \times 6,75)$$

$$V_e = 1662 + j 2048,75$$

$$V_e = \sqrt{(1662)^2 + (2048,75)^2} = 2639 \text{ V}$$

$$V_e = 2639 \text{ V}$$

$$\Delta V\% = \frac{2639 - 2000}{2000} \times 100 = 32\%$$

$$\Delta V\% = 32\%$$

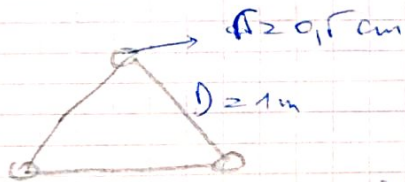
le 28/01/2020

Ex 02

Une ligne de transmission triphasée de section de 80 mm^2 et un diamètre de 1 cm qui a la configuration suivante (voir figure) elle délivre une puissance de 10 kW avec une tension de 32 kV et un $\cos \varphi = 0,8$ sur une longueur de 20 km , si la résistivité du conducteur est $\rho = 22,7 \text{ m}\Omega/\text{mm}^2$

- 1) déterminer le rendement de cette ligne
- 2) la chute de tension en %

Solution



$$V_S = \frac{U}{\sqrt{3}} = V_e = \frac{32 \times 10^3}{\sqrt{3}}$$

$$V_S = V_e = 18475 \text{ V}$$

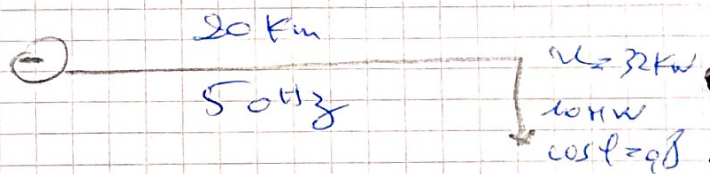
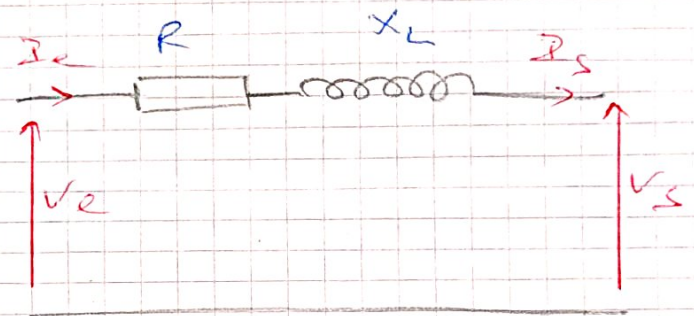
$$L_0 = 2\pi \cdot 10^{-7} \ln \frac{D}{r}$$

$$L_0 = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{100}{0,5} = 10,13 \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

$$L = 10,13 \times 10^{-7} \times 20.000 = 2,118 \times 10^{-2} \text{ H}$$

$$X_L = L \omega = L \times 2\pi f$$

$$X_L = 2,118 \pi \cdot 10^{-2} \times 3,14 = 6,65 \Omega$$



$$R = Z \frac{e}{s} = 22,7 \frac{20.000}{90} = 5000 \text{ m}\Omega = 5 \Omega$$

$$I_s = \frac{P_s}{\sqrt{3} U \cos \varphi} = \frac{10.000}{\sqrt{3} 32 \cdot 0,8} = 227,13 \text{ A}$$

$$I_e = 227,13 \text{ A}$$

$$\bar{I}_e = \bar{I}_s \rightarrow \text{ligne courte}$$

$$\Delta P = 3 R I_s^2 = 3 \times 5 (227,13)^2 = 762,3 \text{ Kw}$$

$$\eta = \frac{P_s}{P_e} \times 100 = \frac{P_s}{P_s + \Delta P} \times 100$$

$$\eta = \frac{10 \times 10^3}{10 \times 10^3 + 763} \times 100 = 92,81 \%$$

$$\Delta U \% = \frac{V_e - V_s}{V_s} \times 100$$

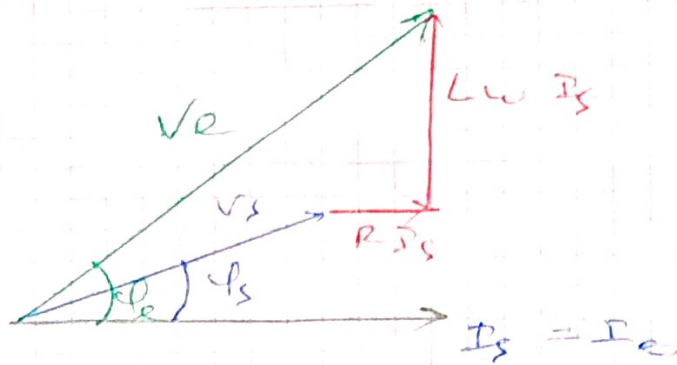
$$V_e = A V_s + B I_s$$

$$I_e = C V_s + D I_s$$

$$A = D = 1$$

$$B = Z$$

$$Z = 5 + j 6,67$$



$$V_e = V_s + (5 + j 6,6 \Omega) \cdot 225,13$$

$$V_e = 18475 + 5 \times 225,13 + j 6,6 \times 225,13$$

$$= (18475 + 1125,6) + j 1493,77$$

$$V_e = 19602 + j 1493,77$$

$$|V_e| = \sqrt{(19602)^2 + (1493,77)^2} = 19659,29 \text{ V}$$

$$\Delta U \% = \frac{19659,29 - 18475}{18475} \times 100 = 6,41 \%$$

$$\Delta U \% = 6,41 \%$$

2. line methode

$$V_e = V_s \cos \varphi_s + R I_s + j (V_s \sin \varphi_s + L \omega I_s)$$

$$V_e = 18475 \times 0,8 + 5 \times 225,13 + j (18475 \times 0,6 + 6,6 \times 225,13)$$

$$V_e = 15907,6 + j 12584,77$$

$$|V_e| = \sqrt{(15907,6)^2 + (12584,77)^2} = 20283,73 \text{ V}$$

$$|V_e| = 20283,73 \text{ V}$$

$$\Delta U\% = \frac{20283,73 - 18475}{18475} \times 100 = 9,79\%$$

$$\Delta U\% = 9,79\%$$