

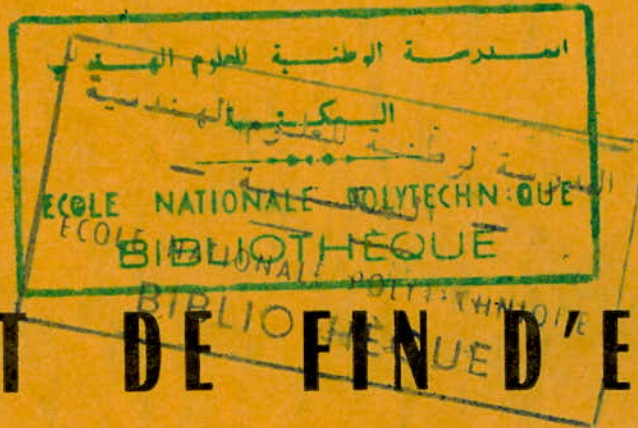
UNIVERSITE D'ALGER

1/76

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

100

Département Électricité



PROJET DE FIN D'ETUDES

COMPENSATION REACTIVE

DES LIGNES HT ET THT

PROPOSE ET DIRIGE PAR :

ETUDIE ET REALISE PAR :

Mr. G. CIRTINA Dr. INGENIEUR

Mr. ABDALLAH Ahmed

PROMOTION 1976

UNIVERSITÉ D'ALGER

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

PROJET DE FIN D'ÉTUDES

COMPENSATION REACTIVE
DES LIGNES HT ET THT

-----0-----

Proposé et dirigé par :
Mr. G. CIRTINA Dr Ingénieur

Étudié et réalisé par :
Mr. ABDALLAH Ahmed

PROMOTION 1976

-REMERCIEMENTS-

A M. Cirtina qui a mis à ma disposition son savoir et son expérience pour la réalisation de cette étude, j'adresse un cordial remerciement.

Je tiens également à remercier tous les professeurs qui ont contribué à ma formation ainsi que les personnes qui de près ou de loin ont contribué à l'élaboration de ce projet.

TABLE DES MATIERES

- I - INTRODUCTION
- II - LIGNES HT et THT
 - 2-1 Généralités
 - 2-2 Rôle
 - 2-3 Paramètres Mécaniques et Electriques
 - 2-3-1 Paramètres Mécaniques
 - 2-3-2 Paramètres Electriques
 - 2-4 Les Lignes HT et THT en Algérie
- III - LES REGIMES DE FONCTIONNEMENT DES LIGNES
 - 3-1 Equations générales de fonctionnement des circuits à constantes uniformément réparties en régime permanent
 - 3-2 Fonctionnement à vide
 - 3-3 Régime de court-circuit
 - 3-4 Fonctionnement en charge, circuit sans capacité ni conductance latérale
 - 3-5 Fonctionnement en charge, circuit avec capacité et conductance latérale
 - 3-6 Caractéristiques des usagers aux bornes des postes d'alimentation
 - 3-7 Le $\cos \varphi$ du système
 - 3-8 Bilan de l'énergie réactive
- IV - ROLE DU REGLAGE DE LA PUISSANCE REACTIVE
 - 4-1 Pertes active et réactive en ligne
 - 4-2 Chute de tension
 - 4-3 Réglage de la tension par injection de la puissance réactive
 - 4-4 Cas des lignes avec admittance transversale
 - 4-5 Bonne utilisation de la capacité de transport des lignes
 - 4-6 Chute de tension dans le cas où l'angle θ , déphasage entre U_1 et U_2 , est assez important.
- V - MOYENS DE COMPENSATION
 - 5-1 Compensateur statique et réglable de puissance réactive pour réseau HT
 - 5-2 Compensateur synchrone
 - 5-3 Bobines de réactance et condensateurs
- VI - SITUATION PRESENTE DU RESEAU ALGERIEN (1976)
 - 6-1 Régime maximum de 19 H, bilan des puissances au niveau des jeux de barres.

6-2 Régime minimum de 2 H, bilan des puissances au niveau des jeux de barres.

VII - SITUATION AVENIR DU RESEAU ALGERIEN (1977)

7-1 Régime maximum de 19 H, bilan des puissances au niveau des jeux de barres.

7-2 Régime minimum de 2 H, bilan des puissances au niveau des jeux de barres.

VIII - CONCLUSION

I - INTRODUCTION

De nos jours, la consommation de l'Energie active et de l'énergie réactive augmente à un rythme très rapide. Dans les pays en voie de développement, les productions de celles-ci doublent ou triplent selon les pays tous les dix ans environ. Cependant si le transport de l'Energie active est nécessaire, celui de l'Energie réactive pose de nombreux problèmes du fait des pertes d'Energie, chutes de tension... etc, qu'il occasionne.

La solution de ce problème consiste à utiliser des moyens de compensation placés de manière optimale du point de vue puissance du dispositif de compensation d'une part, et répartition de la puissance réactive de compensation d'autre part.

Vue que la compensation est traitée au niveau du réseau de transport (HT et THT) il est intéressant d'exposer d'abord les lignes HT et THT. Ensuite, il est proposé dans cette étude plusieurs chapitres sur le rôle du réglage de la puissance réactive, les différents moyens de compensation, le réglage de l'injection de la puissance réactive de compensation.

Comme application pratique, nous proposons dans les chapitres VI et VII un calcul de la circulation de puissance du réseau de transport Algérien, et ensuite nous envisageons la compensation nécessaire. Nous examinons dans le chapitre VI la situation présente (1976) et dans le chapitre VII la situation avenir (1977).

II - LIGNES HT et THT

2-1 GENERALITES

Les termes de transport d'énergie électrique et surtout de HT sont utilisés dans des considérations différentes recouvrant des réalités plus ou moins vastes.

On réservera les termes suivants :

- moyenne tension (MT) pour les tensions de réseaux comprises entre 1 et 35 Kv
- haute tension (HT) pour les tensions de réseaux comprises entre 35 et 330 Kv
- très haute tension (THT) pour les tensions de réseaux dépassant 330 Kv
- ultra haute tension (UHT) pour les tensions qui peuvent atteindre 1300 Kv

Le transport concernera les réseaux de tension supérieure à 120 Kv. Les réseaux de répartition auront des tensions comprises entre 35 et 120 Kv.

2-2 ROLE

2-2-1 Transport de l'énergie :

Le réseau de THT sert à transporter l'énergie qu'il est avantageux de produire en un lieu où on ne la consomme pas.

2-2-2 Interconnexion :

Le réseau HT sert à interconnecter divers lieux en les rendant solidaires par mise en commun des réseaux de production.

2-2-3 Fonction transport et fonction interconnexion :

Il est utile de mettre en évidence l'existence de ces deux fonctions différentes bien que, dans la pratique, elles se retrouveront souvent superposées sur les réseaux à HT.

- La fonction transport existe à l'état pur lorsqu'un réseau relie un centre ne comportant que des productions à un autre centre ne comportant que des consommations. Dans ce cas, la puissance circule toujours dans le même sens sur le réseau et suit seulement les variations de la consommation.
- A l'opposé, un réseau jouera un rôle d'interconnexion à l'état pur s'il relie deux centres comportant des consommations et des productions qui, en moyenne, équilibrent ces consommations. Le cas le plus typique est celui où cet équilibre est réalisé par des groupes thermiques. Dans ce cas, les transits sur le réseau ne sont plus déterminés par le seul niveau de la consommation. Ils sont en grande partie liés à la disponibilité aléatoire des groupes thermiques de chaque région.

2-2-4 Coût du transport :

Le développement continu de la consommation d'énergie électrique a pour conséquence un accroissement corrélatif des puissances à transporter, dans les pays où la production est éloignée de la consommation, et il est intéressant de minimiser le coût du transport qui est la somme du coût A de construction de la ligne et des postes d'extrémité, du coût p des pertes joules et du coût de l'entretien. Dans le cas d'un transport pur, la section optimale S_0 et la tension optimale U_0 sont proportionnelles à \sqrt{P} , P étant la puissance à transporter. On a pu constater que dans les grands réseaux, le niveau de plus haute tension a doublé approximativement tous les 20 à 25 ans.

2-2-5 Sécurité d'alimentation :

Les réseaux d'alimentation en énergie électrique ne se conçoivent plus aujourd'hui sans une interconnexion intégrale entre entreprises et même entre différents pays. La distribution de l'énergie doit se faire avec le rendement optimal, tandis que l'échange d'énergie entre entreprises ou entre pays voisins doit être réglé harmonieusement. Ceci n'est possible que si les centres directeurs du réseau et les dispatchings sont informés à tout instant sur les conditions régnant dans le réseau et les changements éventuels pouvant survenir. Le flux intense d'informations qui en résulte doit y être traité rapidement afin que les données qui en découlent puissent servir de base aux postes directeurs pour la gestion de l'ensemble du réseau, la facturation de l'énergie, la statistique, la planification des extensions, l'établissement de la politique d'exploitation, la mise sous tension programmée de secteurs, la planification de l'entretien, de la réserve opérationnelle, du combustible et de l'économie hydraulique.

2-2-6 Télécommunication :

Les entreprises de production et de distribution d'énergie électrique qui s'efforcent d'optimiser leur exploitation au double point de vue technique et économique. C'est déjà dans ce but qu'elles ont perfectionnés intensément leurs réseaux de télécommunications. La télécommunication est une nécessité pour que les dispatchings national et régionaux aient la situation réelle en chaque moment et qu'ils puissent disposer en conséquence des mesures nécessaires donnant des situations optimales du point de vue économique.

2-3 PARAMETRES MECANIQUE ET ELECTRIQUE:

2-3-1 Paramètres mécaniques:

2-3-1-1 Portée de la ligne:

Ordre de grandeur des valeurs adoptées **actuellement** pour les lignes à HT (reappelons que des circonstances locales peuvent conduire à des valeurs assez différentes).

Tension nominale:	10	70	150	220	400	(Kv)
Portée normale:	70-100	150-200	250-300	300-350	350-500	(m)

2-3-1-2 écartement des conducteurs:

Il est fréquemment calculé suivant la formule:

$$D_{\text{mini}} = \frac{U}{150} + K \sqrt{f}$$

ou D_{mini} est l'écartement et f la flèche des conducteurs, exprimés en mètres, et U la tension en kilovolts. Le coefficient K est pris égal à 0,75 pour le cuivre et à 1 pour l'aluminium. Cette formule est logique, car pour une tension donnée l'écartement doit croître avec la flèche, vu l'accroissement du danger de balancement des conducteurs; d'autre part, ce dernier étant plus important pour l'aluminium en raison de sa légèreté, il est normal de donner à K une valeur plus grande que pour le cuivre. Certains exploitants préfèrent adopter des écartements plus grands, afin d'augmenter la sécurité de la ligne. C'est ainsi que l'on réalise en pratique des écartement de l'ordre de grandeur ci-après:

U (Kv)	10	30	70	150	220	380
D (m)	0,5-1	1-1,5	2-3	3-4	5-7	7-12

2-3-1-3 distance minimale entre conducteurs et masse du pylône:

Elle ne peut être inférieure à

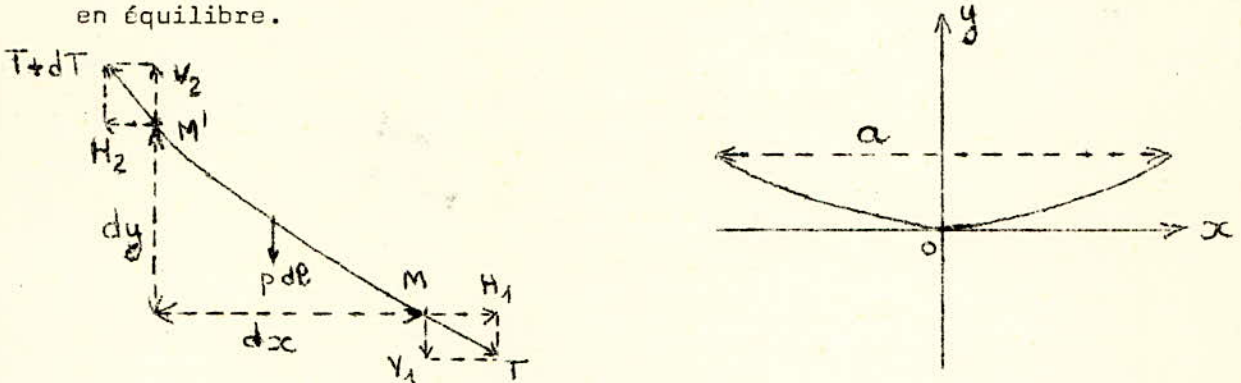
$$d_{\text{mini}} = \frac{U}{150} + 0,1 \text{ m}$$

avec un minimum de 0,2 m. U est exprimée en Kv. Cette formule est empirique. Les isolateurs suspendus permettent un balancement du point de fixation des conducteurs. Dans ce cas la distance ci-dessus doit être respectée dans les conditions de vent les plus défavorables. Pour cela on fait recourt fréquemment, pour les THT, à la fixation de chaque faisceau par deux chaînes en V, ce qui impose une position fixe aux points de fixation. Cette distance d_{mini} est

telle que lors des surtensions internes il y ait ni perforation de l'air entre conducteur et masse ni contournement du conducteur.

2-3-1-4 équation d'un câble suspendu en deux points:

On admet que le câble est inextensible et on considère un élément de ce câble en équilibre.



p est le poids du câble par unité de longueur. Les équations d'équilibre sont:

$$H_2 - H_1 = 0$$

$$V_2 - V_1 = p \cdot dl \Rightarrow dV = p \cdot dl \Rightarrow \frac{dV}{dx} = p \frac{dl}{dx} = p \frac{\sqrt{dx^2 + dy^2}}{dx} = p \sqrt{1 + y'^2}$$

$$\text{d'autre part } V = H \frac{dy}{dx} \Rightarrow \frac{dV}{dx} = H \frac{d^2y}{dx^2} \text{ on a finalement: } Hy'' = p \sqrt{1 + y'^2} \Rightarrow$$

$$\frac{y''}{\sqrt{1 + y'^2}} = \frac{p}{H} = b \quad b \text{ est une constante car } p \text{ et } H \text{ le sont aussi.}$$

$$\int \frac{y''}{\sqrt{1 + y'^2}} dy = \int b dx \Rightarrow \text{Arc Sh } y' = bx + k_1 \Rightarrow y' = \text{Sh}(bx + k_1) \rightarrow y = \frac{1}{b} \text{Ch}(bx + k_1) + k_2.$$

avec les conditions initiales $y'_0 = 0$ et $y_0 = 0$ on aura: $0 = \text{Sh}(k_1) \Rightarrow k_1 = 0$

$$0 = \frac{1}{b} \text{Ch}(0) + k_2 = \frac{1}{b} + k_2 \Rightarrow k_2 = -\frac{1}{b}; y = \frac{1}{b} \text{Ch}bx - \frac{1}{b} \quad \boxed{y = \frac{1}{b} (\text{Ch}bx - 1)}$$

$$\text{équation d'une chaînette. } y = \frac{H}{p} (\text{Ch} \frac{p}{H} x - 1) \Rightarrow y = \frac{T_0}{p_0} (\text{Ch} \frac{p_0}{T_0} x - 1)$$

Sachant que $p_0 = \frac{p}{S}$ la charge spécifique et $T_0 = \frac{H}{S}$ la tension mécanique dans le métal.

Cas pratique: En pratique $p_0 x$ est beaucoup plus petit que T_0 d'où l'on peut appliquer le développement limité de $\text{Ch} \frac{p_0 x}{T_0}$ au 2ème ordre:

$$\text{Ch} \frac{p_0 x}{T_0} = 1 + \frac{p_0^2 x^2}{2T_0^2} \text{ donc } y = \frac{T_0}{p_0} - \frac{p_0^2 x^2}{2T_0^2} \Rightarrow y = \frac{p_0 x^2}{2T_0} \text{ c'est l'équation d'une parabole.}$$

2-3-1-5 flèche:

La flèche est la distance verticale qui sépare un point d'abscisse x appartenant à la courbe de la droite joignant les extrémités (points de fixation) soit "à" la portée de la ligne on aura: sachant que $x = \frac{a}{2}$

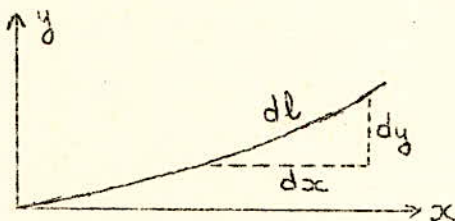
$$f = y_{\max} = \frac{T_0}{P_0} \left(\text{Ch} \frac{P_0}{T_0} \frac{a}{2} - 1 \right)$$

et le cas pratique

$$f = Y_{\max} = \frac{P_0 a^2}{8T_0}$$

2-3-1-6 Calcul de la longueur du conducteur:

Du fait qu'il y a existence d'une flèche il est évident que la longueur l du conducteur est supérieure à la portée "a" et il est important de la connaître avec précision en vue de la commande du matériel nécessaire à la construction de la ligne. Pour les flèches très faibles on pourra admettre en première approximation que $l=a$. En se basant sur la figure et sur l'équation de la courbe on pourra écrire:



$$dl = \sqrt{dx^2 + dy^2} = \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx = \sqrt{1 + y'^2} dx. \text{ Sachant que } y = \frac{T_0}{P_0} \left(\text{Ch} \frac{P_0}{T_0} x - 1 \right)$$

$$\text{donc } y' = \text{Sh} \frac{P_0}{T_0} x \text{ et } dl = \sqrt{1 + \text{Sh}^2 \frac{P_0^2}{T_0^2} x^2} dx = \text{Ch} \frac{P_0}{T_0} x dx \Rightarrow l = \int_{-a/2}^{a/2} dl$$

$$l = \left(\frac{T_0}{P_0} \text{Sh} \frac{P_0}{T_0} x \right) \Big|_{-a/2}^{a/2}$$

$$l = 2 \frac{T_0}{P_0} \text{Sh} \frac{P_0 a}{2T_0}$$

cas pratique: on a vu dans la détermination de l'équation pratique du conducteur que $\frac{P_0 a}{T_0}$ est beaucoup plus petit que T_0 . Donc on pourra appliquer le développement limité de $\text{Sh} \frac{P_0 a}{2T_0}$ au 3^{ème} ordre. On aura:

$$\text{Sh} \frac{P_0 a}{2T_0} = \frac{P_0 a}{2T_0} + \frac{P_0^3 a^3}{48T_0^3} \Rightarrow l = 2 \frac{T_0}{P_0} \left(\frac{P_0 a}{2T_0} + \frac{P_0^3 a^3}{48T_0^3} \right) = a + \frac{P_0^2 a^3}{24T_0^2} = a \left(1 + \frac{P_0^2 a^2}{24T_0^2} \right)$$

$$\text{d'autre part on sait que } f = \frac{P_0 a^2}{8T_0} \Rightarrow f^2 = \frac{P_0^2 a^4}{64T_0^2} \Rightarrow \frac{P_0^2 a^2}{24T_0^2} = \frac{8}{3} \frac{f^2}{a^2}$$

Donc

$$l = a \left(1 + \frac{8}{3} \frac{f^2}{a^2} \right)$$

3-2 Paramètres électriques:

3-2-1 Calcul de la résistance:

Il y a une distinction entre la résistance en courant continu et celle en courant alternatif.

Résistance en courant continu: Elle est donnée par la formule $R = \frac{l}{S} \rho$ est la résistivité du conducteur exprimé en général en $\Omega / \text{m} / \text{mm}^2$. La longueur l doit être exprimée dans ce cas en mètre et la section S en mm^2 . La résistivité ρ varie en fonction de la température, on prend en général comme point de départ sa valeur à 20°C . On a la formule suivante $\rho(t) = \rho_0 \left[1 + \alpha (t - 20) \right]$.

Pour le cuivre $\rho_0 = 0,01724 \Omega / \text{m} / \text{mm}^2$, $\alpha = 0,004$.

Pour l'aluminium $\rho_0 = 0,02828 \Omega / \text{m} / \text{mm}^2$, $\alpha = 0,004$.

Dans le cas du transport en HT et THT les conducteurs sont généralement constitués en fils câblés, la résistance du conducteur est légèrement majorée, vue que la longueur des fils étant supérieure à celle du conducteur en raison de leur disposition en hélice. Le comité Electrotechnique Belge admet que la résistivité par mètre de conducteur câblé et par mm^2 de section ne peut dépasser pour le cuivre $\rho_0 = 0,01786$ à 20°C .

Résistance en courant alternatif:

La résistance d'un conducteur est généralement plus élevée en alternatif qu'en continu et cela à cause de deux phénomènes:

1- Skin-effet: Cet effet, appelé aussi effet Kelvin, consiste en une répartition non uniforme dans la section droite du conducteur. En alternatif le courant tend à s'établir sur les couches périphériques du conducteur; donc sa densité y sera plus intense que dans la partie centrale. Ceci est dû à l'existence d'un flux interne du conducteur. Cet effet est d'autant plus important que la section est grande et la fréquence élevée. En Haute Fréquence cet effet est appelé effet pelliculaire car le courant circule sur la pellicule extérieure du conducteur. On pourra montrer à travers un exemple que la résistance d'un conducteur augmente quand celui-ci à une répartition non uniforme du courant :

soit deux conducteurs couplés en parallèle de 2Ω chacun et qui transportent chacun 10 A . La résistance équivalente est de 1Ω .

Dans le cas de la non uniformité le premier conducteur transporte 15 A et le

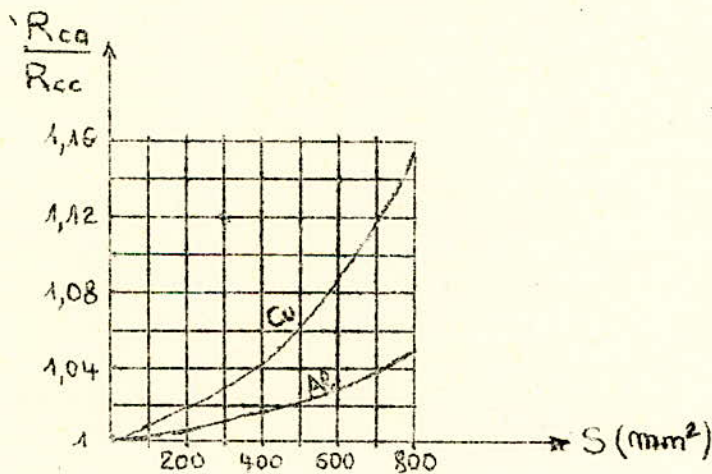
second 5 A. Calculons la résistance équivalente à travers les pertes par effet joule on aura :

$$R_e I^2 = 2 (15)^2 + 2 (5)^2 = 450 + 50 = 500 = R_e (20)^2 = R_e 400 \Rightarrow R_e = \frac{5}{4} = 1,25 \Omega$$

On dit que le Skin-effet provient de l'existence des courants de Foucault qui viennent se superposer aux courants normaux, cette superposition est renforcée vers la périphérie du conducteur.

-b-Pertes totales dues au courant alternatif :

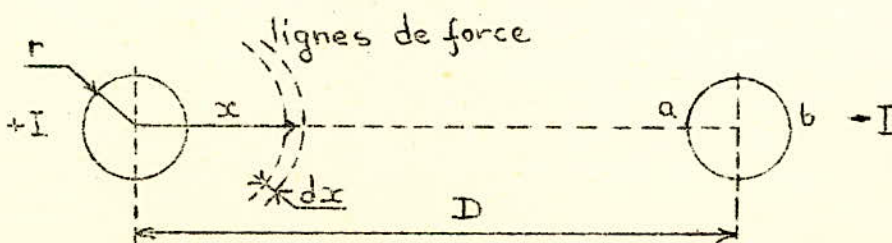
En alternatif la résistance d'un conducteur n'est pas définie par ses dimensions géométriques ($R = \rho \frac{l}{S}$). On calcule la résistance d'après la dissipation d'énergie, or dans de nombreux cas le courant alternatif provoque non seulement des pertes joules et Kelvin mais aussi des pertes par courant de Foucault et Hystérésis ($p_F = \frac{K}{f} B_m^2 e^{2f^2}$; $p_{Hy} = C_1 f B_m^{(1,6 \dots 2)}$). On définit alors la résistance effective d'un conducteur par: $R_e I^2 = \sum p = R_{\Omega} I^2 + a \Rightarrow R_e = R_{\Omega} + \frac{a}{I^2}$. On voit que la résistance effective est plus grande que la résistance Ohmique $R_{\Omega} = \rho \frac{l}{S}$. Elle est d'autant plus grande que les pertes supplémentaires "a" sont élevées. Or "a" augmente avec la fréquence donc R_e aussi.



Pratiquement jusqu'à $S = 600 \text{ mm}^2$ pour l'aluminium $R_{ca} \approx R_{cc}$.

2-3-2-2 Inductance d'une ligne monophasée:

Nous commençons par calculer l'encerclement du flux autour d'un des deux conducteurs.

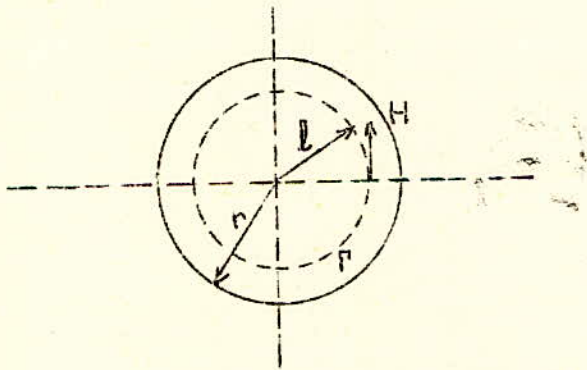


On considère un tronçon de longueur unité; le conducteur de gauche transporte un courant +I celui de droite transporte un courant -I. Toutes les lignes de force jusqu'au point a encerclent le courant +I. Au-delà de b elles encerclent le courant I-I=0 et elles ne contribuent pas à l'encerclement du flux. Entre a et b les lignes de force encerclent une partie du courant I-kI (k=0 à 1). On tiendra compte en supposant que l'encerclement est complet jusqu'à la distance D et nul au-delà. $\int_{\Gamma} H dl = I \Rightarrow H 2\pi x = I \Rightarrow H = \frac{I}{2\pi x}$

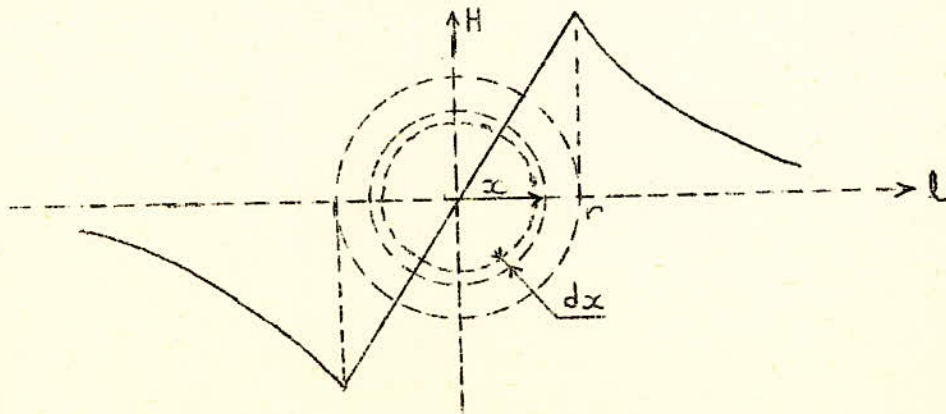
$$d\psi_1 = \int_{\Gamma} H dS = \int_0^D \frac{I}{2\pi x} (dx \cdot 1) = \int_0^D \frac{I}{2\pi} \frac{dx}{x}$$

$$\psi_1 = \int_0^D d\psi_1 = \int_0^D \frac{I}{2\pi} \ln \frac{D}{r} \quad \text{et} \quad L_1 = \frac{\psi_1}{I} = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{D}{r} \quad \text{Henris/mètre}$$

Il reste à tenir compte du flux interne du conducteur. Calculons d'abord le champ à l'intérieur d'un conducteur.



En supposant le courant total uniformément réparti dans la section du conducteur, le courant passant par la surface délimitée par le contour Γ vaut: $I \frac{\pi x^2}{\pi r^2} = I \left(\frac{x}{r}\right)^2$
 le théorème d'Ampère donne: $\oint_{\Gamma} H dl = I \frac{x^2}{r^2} \Rightarrow H 2\pi x = I \frac{x^2}{r^2} \Rightarrow H = \frac{I}{2\pi r^2} x$
 Le champ est donc proportionnel à la distance à l'axe. Pour $x=r$ on trouve $H = \frac{I}{2\pi r}$
 On peut donner une distribution du champ.



$d\Phi_2 = \mu H dS = \mu \frac{I}{2\pi r^2} x (dx \cdot 1) = \mu \frac{I}{2\pi r^2} x dx$. Le flux élémentaire $d\Phi_2$ n'encercle qu'une fraction $(\frac{x}{r})^2$ du courant total I .

$$d\psi_2 = n d\Phi_2 = (\frac{x}{r})^2 d\Phi_2 = \mu \frac{I}{2\pi r^4} x^3 dx \Rightarrow \psi_2 = \frac{\mu I}{2\pi r^4} \int_0^r x^3 dx = \frac{\mu I}{8\pi} \text{ d'où } L_2 = \frac{\psi_2}{I} = \frac{\mu}{8\pi}$$

Donc l'encerclement total autour de chaque conducteur vaut:

$$\psi = \psi_1 + \psi_2 = \frac{\mu_0 \mu_r I}{8\pi} + \frac{\mu_0 I}{2\pi} \ln \frac{D}{r} \Rightarrow \psi = \frac{\mu_0 I}{4\pi} (0,5 \mu_r + 2 \ln \frac{D}{r}) \quad (1)$$

L'inductance totale de chque conducteur vaut : $L = \frac{\psi}{I} \Rightarrow L = \frac{\mu_0}{4\pi} (0,5 \mu_r + 2 \ln \frac{D}{r})$ H/m
 Dans le cas normal des conducteurs non ferromagnétiques (Cu, Al, ou alliages de ces métaux), on remplace μ_r par 1.

$$\psi = \frac{\mu_0 I}{4\pi} (0,5 + 2 \ln \frac{D}{r})$$

$$L = \frac{\mu_0}{4\pi} (0,5 + 2 \ln \frac{D}{r})$$

En introduisant la valeur $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ il vient : $L = (0,5 + 2 \ln \frac{D}{r}) 10^{-7}$ H/m

$L = (0,5 + 2 \ln \frac{D}{r}) 10^{-1}$ mH/Km. Comme l'inductance est un élément série, alors

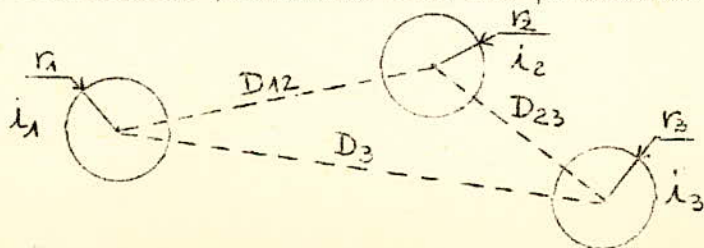
l'inductance de la ligne monophasée vaut : $L_{\text{ligne}} = (1 + 4 \ln \frac{D}{r}) 10^{-1}$ mH/m

Valeurs de l'inductance du conducteur pour des sections usuelles et pour diverses valeurs de D.

S (mm ²)	r (mm)	L en mH/Km d'un conducteur pour:				
		D = 30 cm	D = 50 cm	D = 1 m	D = 2 m	D = 4 m
25	2,82	0,983	1,085	1,22	1,36	1,50
35	3,34	0,950	1,052	1,19	1,33	1,47
50	3,99	0,914	1,016	1,15	1,29	1,43
70	4,72	0,880	0,983	1,12	1,26	1,40
95	5,50	0,850	0,952	1,09	1,23	1,37

2-3-2-3 Inductance dans le cas de trois conducteurs parallèles :

Considérons le cas de trois conducteurs parallèles dont les paramètres sont indiqués sur la figure .



Nous appliquons ici le résultat de l'encerclement du flux autour d'un conducteur, qui a été déterminé lors du calcul de l'inductance d'une ligne monophasée.

$\Psi = \frac{\int_0^M I}{4\pi} (0,5 + 2 \ln \frac{D}{r})$. Nous calculons d'abord l'encerclement du flux autour du conducteur "1", depuis son axe jusqu'à une distance R_∞ assez grande devant D .

On voit que les conducteurs "2" et "3" ne contribuent à cet encerclement que par leurs lignes de force qui sortent en dehors de l'axe du conducteur "1".

$$\begin{aligned} i_1 & \text{ provoque un encerclement autour du conducteur "1" } & \frac{\int_0^M}{4\pi} (0,5 + 2 \ln \frac{R_\infty}{r_1}) i_1 \\ i_2 & \text{ " " " " " " " " } & \frac{\int_0^M}{4\pi} (2 \ln \frac{R_\infty}{D_{12}}) i_2 \\ i_3 & \text{ " " " " " " " " } & \frac{\int_0^M}{4\pi} (2 \ln \frac{R_\infty}{D_{31}}) i_3 \end{aligned}$$

Dans l'encerclement total autour du conducteur "1" sera:

$$\Psi_1 = \frac{\int_0^M}{4\pi} \left[(i_1 + i_2 + i_3) 2 \ln R_\infty + i_1 (0,5 + 2 \ln \frac{1}{r_1}) + 2 i_2 \ln \frac{1}{D_{12}} + 2 i_3 \ln \frac{1}{D_{31}} \right]$$

Dans le cas où la ligne triphasée est équilibrée ($i_1 + i_2 + i_3 = 0$) on aura:

$$\Psi_1 = \frac{\int_0^M}{4\pi} \left[i_1 (0,5 + 2 \ln \frac{1}{r_1}) + 2 i_2 \ln \frac{1}{D_{12}} + 2 i_3 \ln \frac{1}{D_{31}} \right] \quad (2)$$

On se limitera par donner une écriture abrégée ou matricielle.

$$\Psi_1 = a_{11} i_1 + a_{12} i_2 + a_{13} i_3$$

$$\Psi_2 = a_{21} i_1 + a_{22} i_2 + a_{23} i_3 \quad \text{Ou } [\Psi] = [a][i] \quad (3)$$

$$\Psi_3 = a_{31} i_1 + a_{32} i_2 + a_{33} i_3$$

$$\text{Avec } [\Psi] = \begin{bmatrix} \Psi_1 \\ \Psi_2 \\ \Psi_3 \end{bmatrix} ; [a] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \quad \text{et } [i] = \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix}$$

$$a_{ii} = \frac{\int_0^M}{4\pi} (0,5 + 2 \ln \frac{1}{r_i}) \quad a_{ij} = \frac{\int_0^M}{4\pi} 2 \ln \frac{1}{D_{ij}} = a_{ji}$$

Comme l'encerclement de flux autour d'un conducteur considéré n'est plus proportionnel au seul courant dans ce conducteur, mais dépend également des intensités parcourant les deux autres, il s'ensuit que l'on ne peut plus ici définir l'inductance. Il faudra se borner à calculer l'encerclement de flux, et en déduire éventuellement la chute inductive: $e_s = - \frac{d\Psi}{dt}$.

2-3-2-4 Cas de la ligne triphasée symétrique:

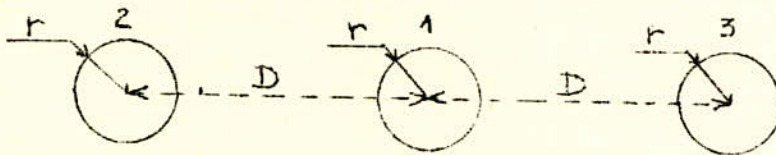
Supposant les trois conducteurs de même rayon, et disposés aux sommets d'un triangle équilatéral, de sorte que $D_{12} = D_{23} = D_{31} = D$. En reprenant la formule (2) on aura :

$$\Psi_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} \left[i_1 \left(0,5 + 2 \ln \frac{1}{r} \right) + 2i_2 \ln \frac{1}{D} + 2i_3 \ln \frac{1}{D} \right], \text{ et sachant que } i_1 = -(i_2 + i_3),$$

on a: $\Psi_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} (0,5 + 2 \ln \frac{1}{r} - 2 \ln \frac{1}{D}) i_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} (0,5 + 2 \ln \frac{D}{r}) i_1$

ici l'encerclement du flux autour du conducteur "1" est proportionnel au courant i_1 qui circule dans ce conducteur ; on pourra donc définir l'inductance du conducteur "1" comme : $L_1 = \frac{\Psi_1}{i_1} = \frac{\mu_0}{4\pi} (0,5 + 2 \ln \frac{D}{r})$. Il est évident que $L_1 = L_2 = L_3$ puisque D et r ont une valeur unique.

2-3-2-5 Cas de la ligne triphasée disposée dans un plan:



On devra distinguer ici le cas du conducteur médian et celui des conducteurs extrêmes.

Conducteur médian: la formule (2) donne $\Psi_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} \left[i_1 \left(0,5 + 2 \ln \frac{1}{r} \right) + 2i_2 \ln \frac{1}{D} + 2i_3 \ln \frac{1}{D} \right]$

$$\Psi_1 = \frac{\mu_0 i_1}{4\pi} (0,5 + 2 \ln \frac{D}{r}) \Rightarrow L_1 = \frac{\Psi_1}{i_1} = \frac{\mu_0}{4\pi} (0,5 + 2 \ln \frac{D}{r}) \quad (\text{H/m})$$

Conducteurs extrêmes: la formule (3) donne $\Psi_2 = \frac{\mu_0}{4\pi} \left[(2i_1 \ln \frac{1}{D}) + i_2 \left(0,5 + 2 \ln \frac{1}{r} \right) + i_3 \ln \frac{1}{2D} \right]$

Cette expression n'étant pas proportionnelle à i_2 , il sera donc ici encore impossible de définir l'inductance de ces deux conducteurs mais on devra se

borner à calculer la chute inductive. $e_1 = \frac{d\Psi_1}{dt} = L \omega i_1$. Partant des expressions (3) on obtient : $e_1 = \frac{d\Psi_1}{dt} = a_{11} \frac{di_1}{dt} + a_{12} \frac{di_2}{dt} + a_{13} \frac{di_3}{dt}$.

a_{11}, a_{12}, a_{13} dépendent des dimensions géométriques de la ligne connues.

Si i_1, i_2, i_3 sont connues, on pourra déterminer facilement e_1 . Et même ces pour e_2 et e_3 .

2-3-2-6 Ligne triphasée dissymétrique transposée:

Lorsque l'on fait usage d'une disposition dissymétrique (dans un plan) on est fréquemment amené à pratiquer, de distance en distance, des transpositions grâce auxquelles chacun des trois fils de ligne occupe successivement les diverses positions. Ceci ne modifie en rien les coefficients a_{11}, a_{22}, a_{33} puisqu'ils sont indépendants des distances D, par contre les coefficients a_{ij} seront affectés par ces transpositions. Dans le cas du conducteur "1" par exemple, nous devrons écrire:

$$\Psi_1 = a_{11} i_1 + \frac{a_{12} + a_{23} + a_{31}}{3} i_2 + \frac{a_{31} + a_{12} + a_{23}}{3} i_3 = (a_{11} - \frac{a_{12} + a_{23} + a_{31}}{3}) i_1$$

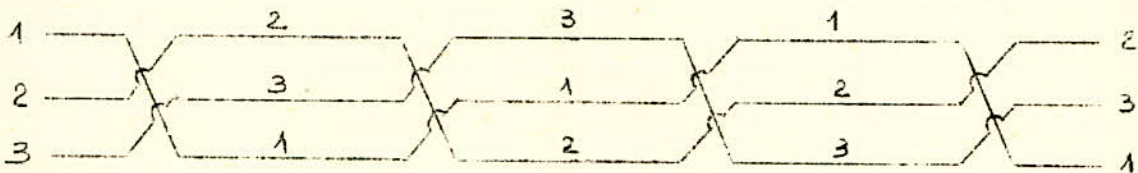
Remplaçons les coefficients a_{ij} par leurs valeurs, on aura:

$$\frac{a_{12} + a_{23} + a_{31}}{3} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2}{3} \left(\ln \frac{1}{D_{12}} + \ln \frac{1}{D_{23}} + \ln \frac{1}{D_{31}} \right) = \frac{\mu_0}{6\pi} \ln \frac{1}{D_{12} D_{23} D_{31}} = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{1}{\sqrt[3]{D_{12} D_{23} D_{31}}}$$

Posons $D = \sqrt[3]{D_{12} D_{23} D_{31}}$ il vient: $\psi_1 = i \frac{\mu_0}{4\pi} (0,5 + 2 \ln \frac{1}{r} - 2 \ln \frac{1}{D}) = \frac{\mu_0}{4\pi} (0,5 + 2 \ln \frac{D}{r})$

$$L_1 = \frac{\psi_1}{i} = \frac{\mu_0}{4\pi} (0,5 + 2 \ln \frac{D}{r}) = L_2 = L_3$$

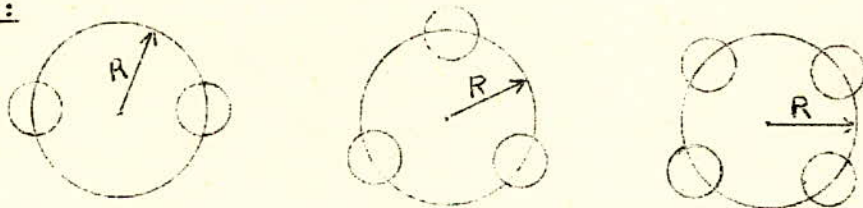
On voit que les transpositions pratiquées à distance régulières ont pour effet de symétriser la ligne, comme si on lui conférait un écartement D unique, égal à la moyenne géométrique des trois écartements réels.



3-2-7 Ligne aérienne triphasée à conducteurs en faisceaux:

Aux très haute tension (plus de 300 Kv) on utilise beaucoup des lignes en faisceaux. Chaque phase est équipée de deux, trois ou quatre conducteurs convenablement écartés les uns des autres. Cette disposition permet de réduire les manifestations de l'effet de couronne autour des conducteurs, en diminuant à égalité de section de métal, le champ électrique à la surface de ceux-ci.

Schématisation:



Les formules des inductances (et des capacités) restent valables, avec une grande approximation, à la condition d'y remplacer le rayon r d'un conducteur par le rayon r' du conducteur équivalent au faisceau. $r' = \sqrt[n]{r D^{n-1}}$ avec $D = 2R$.

3-2-8 Susceptance: Pour les lignes électriques triphasées, la susceptance d'une phase est donnée par la relation $B = 2\pi f C$ (5)

3-2-9 Capacité d'un conducteur par rapport au sol:

C'est à l'aide de l'expression du champ électrique en un point p qu'on fait ce calcul. Sachant que le conducteur porte une charge q par unité de longueur.

On a: $E = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 x}$; $E' = -\frac{q}{2\pi\epsilon_0 x'}$

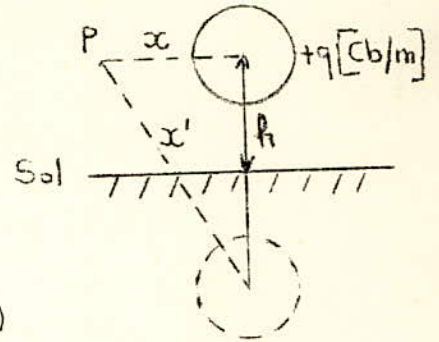
Le champ total en p dû aux charges,

+q et -q sera $E_p = E + E' = \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{x'} \right)$

Le potentiel du point p sera:

$U_p = \int_x^{R_\infty} E dx + \int_{x'}^{R_\infty} E' dx' = \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \left(\ln \frac{R_\infty}{x} - \ln \frac{R_\infty}{x'} \right)$

$U_p = \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{x'}{x}$ (4)



Au niveau du sol $x = x' \Rightarrow U_p = 0$ donc U_p est la tension entre le point p et le sol.

Quand le point p est à la surface du conducteur on aura :

$U_p = \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2h}{r} = \frac{q}{C} \Rightarrow C = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{2h}{r}}$

2-3-2-10 Capacité dans le cas d'une ligne monophasée dans le voisinage du sol:

Dans ce calcul on pourra appliquer les conclusions du cas précédent données par la formule (4):

$U_1 = \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \left(\ln \frac{R_\infty}{r} + \ln \frac{R_\infty}{\delta} - \ln \frac{R_\infty}{D} - \ln \frac{R_\infty}{2h} \right)$

$U_1 = \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \left(\ln \frac{2hD}{r\delta} \right)$. Par raison de symétrie

on a: $U_1 = -U_2 \Rightarrow U_1 - U_2 = 2U_1 = \frac{q}{\pi\epsilon_0} \ln \frac{2hD}{r\delta}$

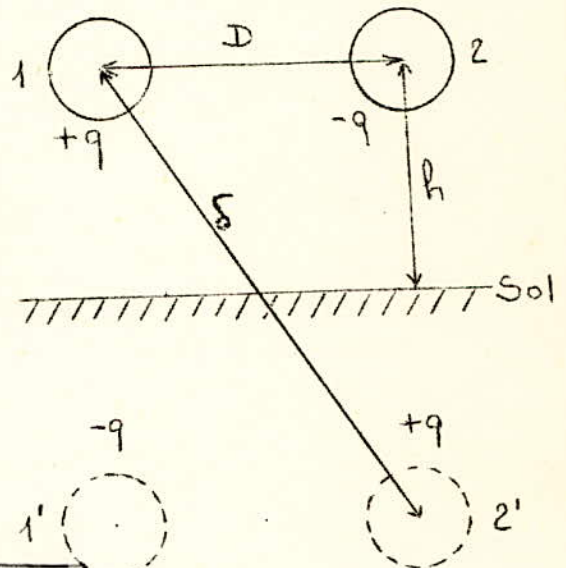
En conclusion on a: $C = \frac{q}{U_1 - U_2} = \frac{\pi\epsilon_0}{\ln \frac{2hD}{r\delta}}$

Sachant que:

$\delta^2 = (2h)^2 + D^2 = (2h)^2 \left[1 + \left(\frac{D}{2h} \right)^2 \right] \Rightarrow$

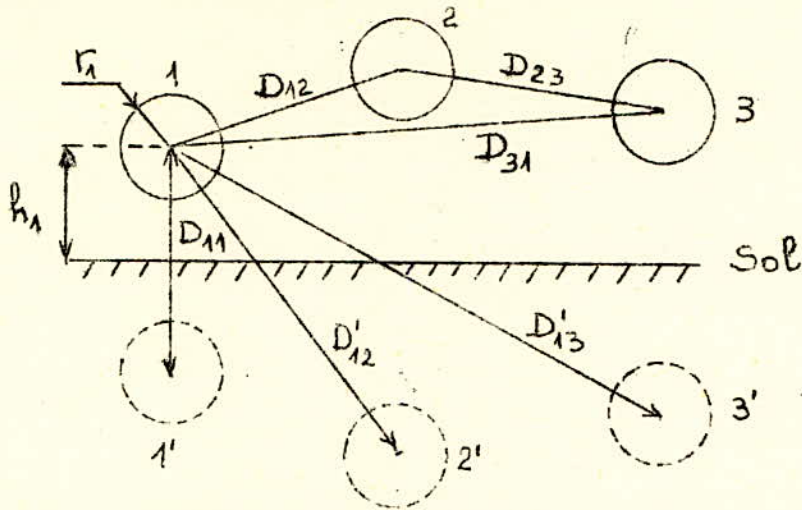
$\left(\frac{\delta}{2h} \right)^2 = 1 + \left(\frac{D}{2h} \right)^2$. Posons $k = \left(\frac{\delta}{2h} \right) = \sqrt{1 + \left(\frac{D}{2h} \right)^2}$ il vient:

$C = \frac{\pi\epsilon_0}{\ln \frac{D}{rk}}$



k est appelé coefficient de correction, il introduit l'effet de la proximité du sol qui pourra être négligé (e. a. d. $k=1$) dans beaucoup de cas, $2h$ étant souvent grand par rapport à D . Si la ligne est plus rapprochée du sol, le coefficient k augmente ce qui fait croître également la capacité. Ceci est la conséquence du fait que le champ électrique reliant les deux conducteurs s'étale sur un espace beaucoup plus grand, en raison des lignes de force qui relient chacun des conducteurs au sol.

2-3-2-11 Cas général de la ligne triphasée:



Soit une ligne triphasée quelconque au voisinage du sol. En appliquant le résultat du cas précédent on trouve :

$$U_1 = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} (q_1 \ln \frac{R_{\infty}}{r_1} + q_2 \ln \frac{R_{\infty}}{D_{12}} + q_3 \ln \frac{R_{\infty}}{D_{13}} - q_1 \ln \frac{R_{\infty}}{2h_1} - q_2 \ln \frac{R_{\infty}}{D'_{12}} - q_3 \ln \frac{R_{\infty}}{D'_{13}})$$

$$U_1 = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} (q_1 \ln \frac{2h_1}{r_1} + q_2 \ln \frac{D'_{12}}{D_{12}} + q_3 \ln \frac{D'_{13}}{D_{13}})$$

En général on a :

$$U_1 = a_{11}q_1 + a_{12}q_2 + a_{13}q_3$$

$$a_{ii} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2h_i}{r_i}$$

$$U_2 = a_{21}q_1 + a_{22}q_2 + a_{23}q_3$$

avec

$$U_3 = a_{31}q_1 + a_{32}q_2 + a_{33}q_3$$

$$a_{ik} = a_{ki} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{D'_{ik}}{D_{ik}}$$

Supposons que la ligne est transposée et que les trois conducteurs aient même rayon $r = r_1 = r_2 = r_3$, et que de plus on les transpose d'une manière uniforme.

dans ce cas on a les moyennes géométriques suivantes: $D = \sqrt[3]{D_{12} D_{23} D_{31}}$

$h = \sqrt[3]{h_1 h_2 h_3}$. On pourra donc écrire, avec l'approximation $2h \approx D'_{ik}$:

$$a_{ii} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2h}{r} = a$$

$$a_{ik} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2h}{D} = a'$$

Etant donné que pour les lignes triphasées $q_1 + q_2 + q_3 = 0$ on aura:

$$U_1 = aq_1 + a'(q_1 + q_2) = q_1(a - a') = q_1 \frac{1}{2\pi\epsilon_0} (\ln \frac{2h}{r} - \ln \frac{2h}{D}) = \frac{q_1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{D}{r}$$

$$C_1 = \frac{q_1}{U_1} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{D}{r}}$$

Comme le potentiel intervenant dans ce calcul est un potentiel par rapport à la terre, il en va de même pour la capacité C_1 . Il ne faudrait pourtant pas s'imaginer que cette valeur ne concerne que la seule capacité du conducteur par rapport au

sol. Son calcul a bien montré qu'elle englobe les effet des autres conducteurs, mais ces effets sont traduits sous la forme d'une capacité étoile équivalente.

2-3-2-12 Les capacités entre les conducteurs:

On partira du système général suivant:

$$U_1 = a_{11}q_1 + a_{12}q_2 + a_{13}q_3 = (a - a')q_1$$

$$U_2 = a_{21}q_1 + a_{22}q_2 + a_{23}q_3 = (a - a')q_2 \quad \text{et de là on pourra tirer:}$$

$$U_3 = a_{31}q_1 + a_{32}q_2 + a_{33}q_3 = (a - a')q_3$$

$$\frac{U_1 - U_2}{a - a'} + \frac{U_1 - U_3}{a - a'} + \frac{U_1}{a'} = \frac{2a' + a}{a'} q_1 \quad \text{donc}$$

$$q_1 = (U_1 - U_2) \frac{a'}{2a' + a} \frac{1}{a - a'} + (U_1 - U_3) \frac{a'}{2a' + a} \frac{1}{a - a'} + U_1 \frac{a'}{2a' + a} \frac{1}{a'}$$

$$q_1 = (U_1 - U_2)c + (U_1 - U_3)c + U_1 C = U_1 (C + 3c) - c(U_1 + U_2 + U_3)$$

Sachant que $U_1 + U_2 + U_3 = 0$ on a $q_1 = U_1 (C + 3c)$; $C_1 = \frac{q_1}{U_1} = C + 3c \Rightarrow$

$$c = \frac{C_1 - C}{3}$$

On va montrer que C est la capacité homopolaire de la ligne triphasée. Dans le cas du régime homopolaire on a $U_1 + U_2 + U_3 = 3U_0$ $q_0 = U_0 (C + 3c) - 3c U_0 = U_0 C$ comme

$$C_0 = \frac{q_0}{U_0} = C \quad \text{donc } C_1 = C_0 + 3c .$$

2-3-2-13 Conductance:

La conductance est due soit à l'imperfection du matériel isolant, soit à l'effet couronne. Les pertes dues aux isolateurs, qui se décomposent elles même en pertes diélectriques et les pertes par conductibilité superficielle sont petites, parce que la composante respective de la conductance est petite (2.10^{-4} à 2.10^{-3})

$$\mu S/Km. \quad P = U^2 G \Rightarrow \quad \boxed{G = \frac{P}{U^2}}$$

P est la puissance perdue à cause de l'imperfection du matériel isolant et par effet couronne. G est la conductance latérale. U est la tension de service .

Pour une ligne de 110 Kv:

$$P = U^2 G = (110 \cdot 10^3)^2 \cdot 2(10^{-4} + 10^{-3}) \cdot 10^{-6} = (2,42 + 24,2) \quad W/Km.$$

Cette valeur augmente de 5 à 6 fois pendant la pluie, arrivant à $(10 + 100) \quad W/Km.$

Cette conductance prend des valeurs un peu plus grandes quand la ligne passe par les régions industrielles ou sur le bord de la mer, et à cause des dépôts sur les

isolateurs : $G=(0,02 + 0,4) \mu S/Km$ et $P=(242 + 4840) W/Km$ pour $U = 110 Kv$.

L'effet couronne visuel apparait sur un conducteur pour une certaine tension critique $U_{cr} = 84 m_1 m_2 \delta r \log \frac{D_m}{r}$, sous la forme d'une gaine lumineuse entourant le conducteur. Dans cette formule :

$m_1 = 0,8$ à $0,95$ suivant l'état de la surface du conducteur.

$m_2 = 1$ pour le beau temps et $m_2 = 0,8$ pour la pluie.

$\delta \approx 1$, la densité relative de l'air.

D_m la distance moyenne entre les phases de la ligne.

r le rayon d'un conducteur de phase.

On calcule les pertes par effet couronne en utilisant la formule donnée par Peek:

$$\Delta P = \frac{241}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{D_m}} (U - U_{cr})^2 10^{-5} \quad Kw/Km/3 \text{ phases ; } f = 50 \text{ Hz}$$

U : la tension de service (tension composée en Kv).

U_{cr} : la tension critique entre phases (Kv).

Si la tension dépasse 220 Kv, on utilise la formule suivante:

$$\Delta P = (f + \frac{60}{D_m}) (U - U_{cr})^2 10^{-4} \quad (Kw/Km/3 \text{ phases}), \text{ avec } L_m = 0,19 \sqrt{\frac{r E_v}{f}}$$

$$\text{et } E_v = 21,1 m_1 m_2 \delta (1 + 0,304 / \sqrt{r \delta})$$

Les pertes par effet couronne croissent très rapidement lorsque la tension critique est dépassée. Elles ne sont appréciables que pour les lignes dont la tension de service dépasse 120 Kv. On essaye toujours à éviter l'effet couronne en raison de ses inconvénients :

- Perturbations radiophoniques
- Corrosion des conducteurs
- Les pertes peuvent arriver à des valeurs très grandes.

2-4 LES LIGNES HT et THT EN ALGERIE:

2-4-1 Croissance de la production d'électricité:

La croissance de la production d'électricité en Algérie s'est manifestée à partir de 1967. Elle s'est faite à des taux de plus en plus élevés:

+6,5 %	Entre 1966 et 1967
+9,6 %	Entre 1967 et 1968
+13,1 %	Entre 1968 et 1969
+15,2 %	Entre 1969 et 1970
+11,0 %	Entre 1970 et 1971
+19,4 %	Entre 1971 et 1972

- Les consommations basse tension ont progressé à un taux moyen de 10 % par an entre 1967 et 1972, ce qui correspond à un doublement tous les 7 ans.

- Les consommations HT : Elles ont évolué à un rythme très élevé, le taux moyen de croissance entre 1967 et 1972 atteint 14 % par an, ce qui correspond à un doublement tous les 5 ans. Cette croissance est surtout sensible dans le secteur industriel où les consommations d'énergie électrique doivent être multiplié par 2,35 entre 1967 et 1972, ce qui correspond à un taux de croissance moyen de 18,6 % par an. Ce résultat est la conséquence d'un effort industriel remarquable qui s'est traduit en particulier par la création de pôles de consommation importants : zones industrielles d'ARZEW et de SKIKDA, EL HADJAR, HASSI MESSAOUD.

Le nombre d'abonnés HT est passé de 2851 en 1967 à 3750 en 1972 soit une augmentation de 899 abonnés en 5 ans.

2-4-2 Le transport :

La création d'unités industrielles importantes, de zones industrielles à unités multiples, de stations de pompage de forte puissance pour l'irrigation nécessitent le renforcement des lignes de transport et des postes de transformation. Parallèlement, l'interconnexion des moyens de production doit être rendue plus sûre et sa capacité accrue. Ainsi près de 1000 Km de lignes 220 Kv sont en construction. Elles doubleront tout le réseau de transport haute tension interconnecté d'ORAN jusqu'à ANNABA et le prolongeront jusqu'à GHAZAUET d'où l'interconnexion avec le MAROC sera bientôt établie. Ce sont les lignes DARGUINAH KHROUBS - SKIKDA - ANNABA (325 Km mis en 1970) ZAHANA TLEMCEN - GHAZAUET (175 Km en 1972), ARBA-ZAHANA (380 Km en 1973). La construction d'environ 700 Km de lignes 60 Kv permettra de raccorder de nouvelles zones au réseau HT ou de renforcer, par bouclage, la sécurité d'autres régions. Cinq postes 150 Kv et une quinzaine de postes 60 Kv, dont la puissance totale dépasse 10^3 MVA, permettront d'injecter dans le réseau toute l'énergie disponible et de la distribuer.

Enfin tout le réseau 150 Kv sera exploité en 220 Kv pour doubler sa capacité de transport. Les travaux nécessaires ont débuté en 1973, et en principe ils doivent être terminés en 1976.

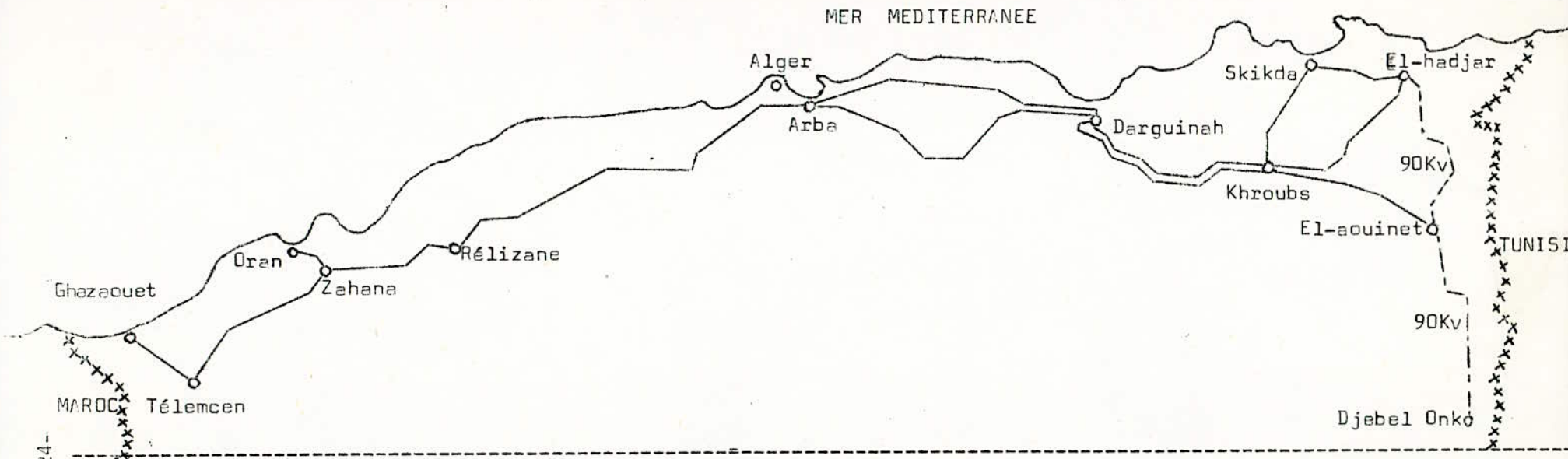
2-4-3 Perspectives 1980 :

L'expansion rapide qui s'est manifestée à partir de 1968 et que confirme la réalisation des plans quadriennaux, permet de prévoir que le rythme de croissance actuel sera soutenu à long terme. Ceci implique la continuité de l'effort de développement de l'infrastructure énergétique et, de plus en plus, le recours aux méthodes modernes de gestion.

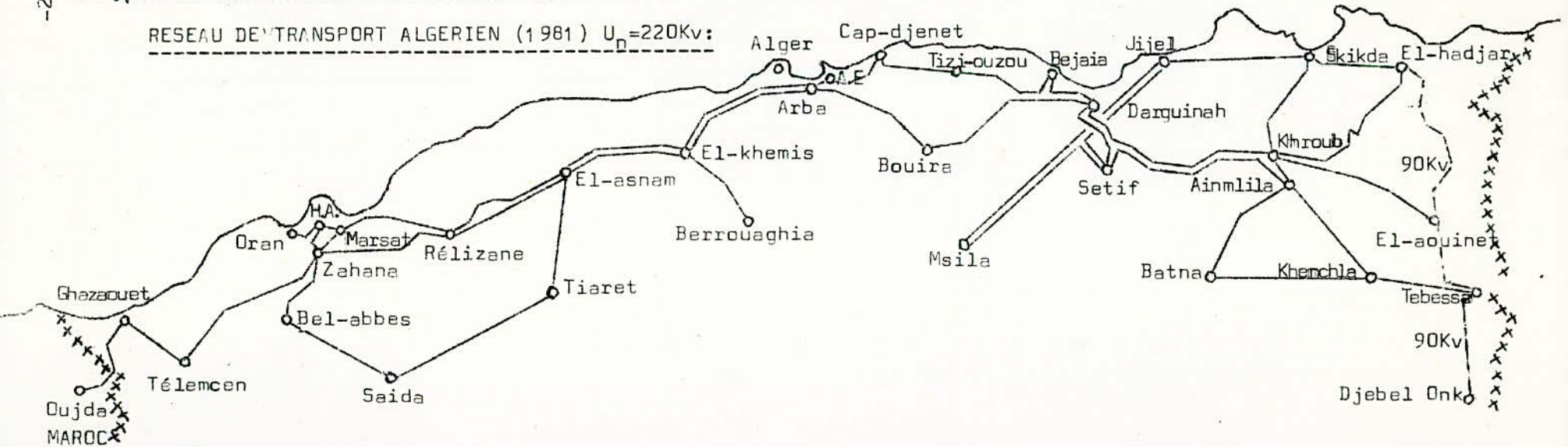
Le tableau ci-dessous indique les grandeurs prévisibles des diverses activités de la SONELGAZ en 1980 par rapport à 1972.

DESIGNATION	Prévisions 1972	Horizon 1980	Taux de croissance moyen annuel
- Production	2270	5200	11 %
- Consommations totales	1960	4600	11 %
- Secteur industriel	1080	2700	12 %
- Secteur domestique	610	1200	9 %
- Secteur tertiaire	230	500	10 %
- Secteur Agricole	40	200	22 %

RESEAU DE TRANSPORT ALGERIEN (1976) $U_n=150$ Kv:

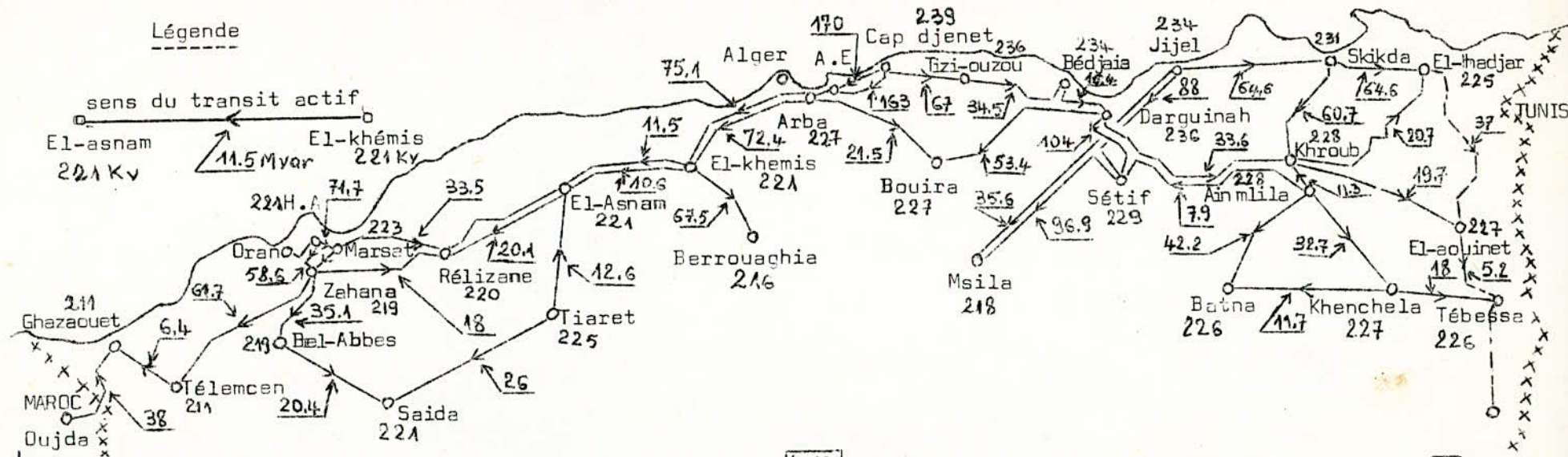


RESEAU DE TRANSPORT ALGERIEN (1981) $U_n=220$ Kv:



RESEAU DE TRANSPORT ALGERIEN (1985) ETAT SAIN $U_n=220\text{Kv}$:

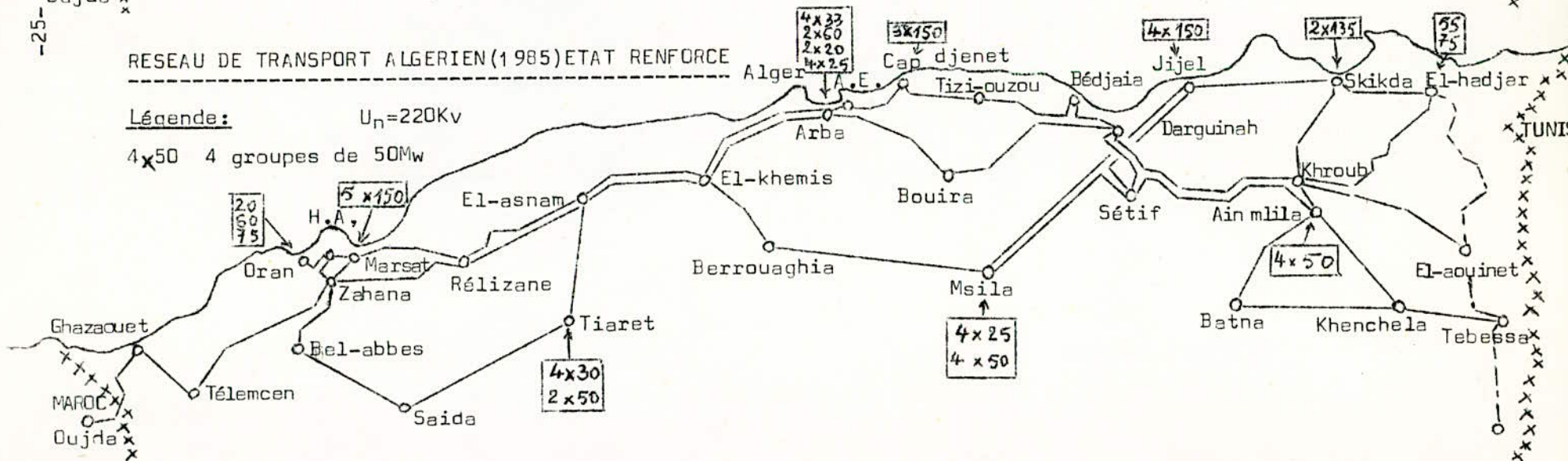
Légende



RESEAU DE TRANSPORT ALGERIEN (1985) ETAT RENFORCE

Légende: $U_n=220\text{Kv}$

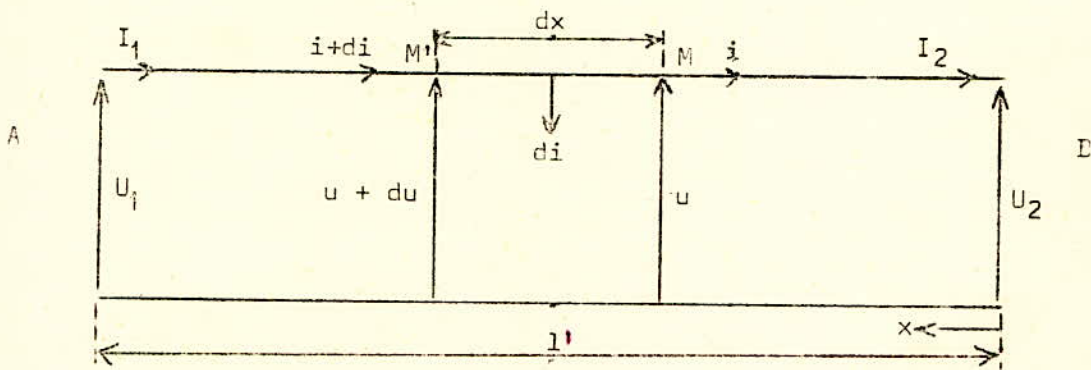
4×50 4 groupes de 50Mw



III - LES REGIMES DE FONCTIONNEMENT DES LIGNES

3-I Equations générales de fonctionnement des circuits à constantes uniformément réparties en régime permanent.

Soit une ligne triphasée à constantes réparties, homogène et symétrique, caractérisée par ses grandeurs effectives linéiques r , l , g , c . On admet que ces quatre grandeurs sont constantes. L'erreur commise de ce fait est d'ailleurs faible car elle n'affecte que les grandeurs r et g , alors qu'en courant alternatif ce sont les grandeurs l et c qui jouent un rôle prépondérant.



Nous considérons le circuit monophasé équivalent au circuit triphasé. En régime variable la tension u et le courant i sont des fonctions du temps t et de l'abscisse x . En négligeant les infiniments petits du second ordre et en appliquant la loi d'Ohm sur le tronçon MM' on aura :

$$U_{M'} - U_M = du = r i dx + l dx \frac{\partial i}{\partial t} = \frac{\partial u}{\partial x} dx \Rightarrow \frac{\partial u}{\partial x} = r i + l \frac{\partial i}{\partial t} \quad (4)$$

$$i_{M'} - i_M = di = g u dx + c dx \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial i}{\partial x} dx \Rightarrow \frac{\partial i}{\partial x} = g u + c \frac{\partial u}{\partial t}$$

Ces équations aux dérivées partielles définissent le régime de fonctionnement de la ligne. En différentiant la première équation par rapport à x et la seconde par rapport à t on pourra éliminer i . De même, en différentiant la première équation par rapport à t et la seconde par rapport à x on pourra éliminer u .

On obtient finalement les équations suivantes :

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = r g u + (r c + l g) \frac{\partial u}{\partial t} + l c \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$

$$\frac{\partial^2 i}{\partial x^2} = r g i + (r c + l g) \frac{\partial i}{\partial t} + l c \frac{\partial^2 i}{\partial t^2}$$

Ce système d'équations est général et couvre tous les régimes possibles du circuit considéré. On se bornera à l'étude du régime forcé, où la f.e.m. appliquée au circuit est sinusoïdale de pulsation ω . Donc la tension et le courant en un point quelconque du circuit sont des fonctions sinusoïdales du temps. En utilisant la représentation complexe on a d'après les équations (4)

$$\frac{dU}{dx} = (r + j\omega)I \quad \frac{dI}{dx} = (g + j\omega)U \quad (5)$$

En différentiant la première équation par rapport à x , on pourra éliminer I .

De même en différentiant la deuxième équation par rapport à x , on pourra éliminer U

$$\frac{d^2U}{dx^2} = (r + j\omega)(g + j\omega)U \quad \frac{d^2I}{dx^2} = (g + j\omega)(r + j\omega)I$$

En posant $z = r + j\omega$ l'impédance linéique

$y = g + j\omega$ l'admittance linéique

on a : $\frac{d^2U}{dx^2} = zyU$ et $\frac{d^2I}{dx^2} = zyI$ et en posant $n^2 = zy$ on aura :

$$\frac{d^2U}{dx^2} = n^2U \quad \text{et} \quad \frac{d^2I}{dx^2} = n^2I \quad \text{ce sont les équations fondamentales}$$

définissant la transmission de l'énergie le long du circuit. Leur résolution est la suivante :

$$\frac{d^2U}{dx^2} - n^2U = 0$$

$$r^2 - n^2 = 0 \quad \text{équation caractéristique}$$

$$U = Me^{nx} + Ne^{-nx}$$

$$r_1 = n \quad ; \quad r_2 = -n$$

M et N sont des constantes d'intégration. En dérivant cette dernière équation par rapport à x et en tenant compte du système (5) on trouve :

$$\frac{dU}{dx} = nMe^{nx} - nNe^{-nx} = (r + j\omega)I = zI \quad \text{donc} \quad I = \frac{nM}{z} e^{nx} - \frac{nN}{z} e^{-nx}$$

en posant $\frac{n}{z} = \sqrt{\frac{y}{z}} = \frac{1}{z_c}$ on aura comme équation :

$$U = Me^{nx} + Ne^{-nx}$$

$$I = \frac{M}{z_c} e^{nx} - \frac{N}{z_c} e^{-nx} \quad (6)$$

Nous calculons les constantes d'intégration à partir du régime connu d'un point de la ligne par exemple au point B, origine des abscisses, la tension est U_2 et le courant I_2 . Pour $x = 0$ on a :

$$\left. \begin{aligned} U_2 &= M + N \\ I_2 &= \frac{M-N}{z_c} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} M &= \frac{U_2 + z_c I_2}{2} \\ N &= \frac{U_2 - z_c I_2}{2} \end{aligned}$$

En portant ces valeurs dans le système (6) on obtient :

$$U(x) = U_2 \operatorname{Ch}nx + z_c I_2 \operatorname{Sh}nx$$

$$I(x) = U_2 \frac{\operatorname{Sh}nx}{z_c} + I_2 \operatorname{Ch}nx \quad (7)$$

Ce sont les équations fondamentales sur lesquelles repose toute l'étude du fonctionnement des lignes à constantes réparties. Connaissant le régime du point B, elles permettent de déterminer le régime d'un point quelconque situé à une distance x du point B. Ces équations obtenues sont valables quelque soit le sens réel de propagation de l'énergie active et réactive. z_c est l'impédance caractéristique c'est à dire que si l'extrémité B de la ligne est fermée sur une impédance égale à z_c ; l'impédance apparente mesurée à l'extrémité A sera égale à z_c . En effet : posons $\frac{U_2}{I_2} = z_c$; $x = l$ et remplaçons dans le système d'équation (7)

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= z_c I_2 \operatorname{Ch}nl' + z_c I_2 \operatorname{Sh}nl' = z_c I_2 e^{nl'} \\ I_1 &= I_2 \operatorname{Sh}nl' + I_2 \operatorname{Ch}nl' = I_2 e^{nl'} \end{aligned} \right\} \frac{U_1}{I_1} = z_c$$

z_c est donnée par la relation $z_c = \sqrt{\frac{z}{y}}$, elle caractérise un type de ligne et ne dépend pas de sa longueur car z et y sont des grandeurs linéiques.

3-2 Fonctionnement à vide (effet Ferranti) :

Lorsqu'une ligne, alimentée par l'une de ses extrémités, est ouverte à son autre extrémité, il se produit un phénomène de résonance qui se manifeste par une tension croissant linéairement vers l'extrémité ouverte. On peut utiliser les équations générales pour caractériser le fonctionnement à vide.

$$U_1 = U_2 \operatorname{Ch} n l' + I_2 z_c \operatorname{Sh} n l'$$

$$I_1 = U_2 \frac{\operatorname{Sh} n l'}{z_c} + I_2 \operatorname{Ch} n l'$$

à vide on a : $I_2 = 0$ et

$$\begin{cases} U_1 = U_2 \operatorname{Ch} n l' \\ I_1 = U_2 \frac{\operatorname{Sh} n l'}{z_c} \end{cases}$$

Comportement de la tension à l'extrémité ouverte de la ligne :

On voit qu'à partir des relations précédentes que $\frac{U_1}{U_2} = \operatorname{Ch} n l' = \operatorname{Ch} \sqrt{ZY} \cdot l' = \operatorname{Ch} \sqrt{ZY}$

avec $Z = z l'$ et $Y = y l'$ l'impédance et l'admittance totale de la ligne.

En faisant un développement limité on aura : $\frac{U_1}{U_2} = \operatorname{Ch} \sqrt{ZY} = 1 + \frac{ZY}{2} + \frac{(ZY)^2}{24} + \frac{(ZY)^3}{720} + \dots$

Pour les lignes de transmission usuelle ce rapport est inférieur à l'unité de sorte qu'il y a élévation de la tension le long du circuit, vers l'extrémité libre.

$Z = R + jL\omega$ $Y = G + jC\omega$ avec $R = r l'$ $L = l l'$ $G = g l'$ $C = c l'$ les grandeurs totales de la ligne. $ZY = RG - LC\omega^2 + j(LG\omega - RC\omega)$ dans le cas général

$R \approx G \approx 0$ donc $ZY = -LC\omega^2 = -lc\omega^2 l'^2$ on voit que $\frac{U_1}{U_2}$ est inférieur à l'unité

donc $U_2 > U_1$. Ce phénomène augmente rapidement d'ampleur lorsque la longueur l' de la ligne augmente (effet Ferranti). La cause de l'augmentation du rapport U_2/U_1 est la croissance du courant capacitif qui passe par l'inductance de la ligne.

Tableau donnant quelques valeurs du rapport $\frac{U_2}{U_1}$ en fonction de la longueur de la ligne :

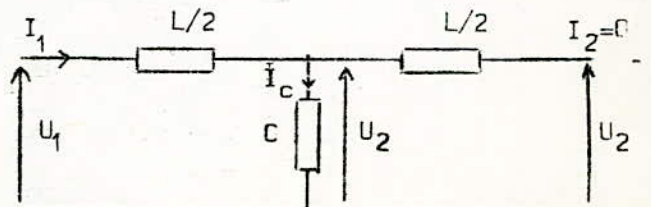
l' (Km)	$\frac{U_2}{U_1}$
100	1,005
300	1,053
500	1,158
750	1,425
1000	2,000

On peut illustrer le régime à vide à partir des schémas équivalents à la ligne. Nous considérons que la résistance R et la conductance G sont négligeables.

a) Schéma en T :

U_2 : Tension à l'extrémité ouverte

U_1 : Tension à l'entrée de la ligne

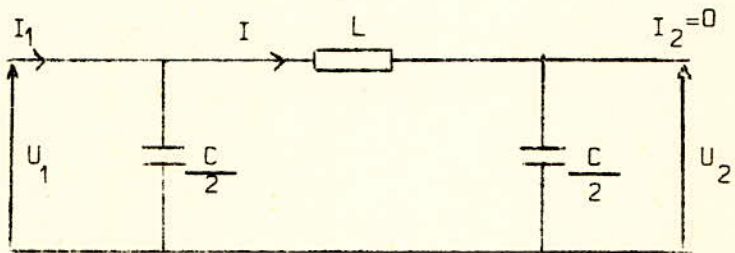


$$u_1 = u_2 + \frac{L}{2} \frac{di}{dt} \text{ sachant que } i = C \frac{du_2}{dt} \Rightarrow u_1 = u_2 + \frac{LC}{2} \frac{d^2 u_2}{dt^2}. \text{ En passant}$$

$$\text{en notation complexe on aura : } U_1 = U_2 \left(1 - \frac{LC\omega^2}{2}\right) \Rightarrow \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{1 - \frac{LC\omega^2}{2}}$$

On voit aisément que ce rapport est supérieur à l'unité donc $U_2 > U_1$. On voit aussi que plus la longueur augmente plus L et C augmentent et il sera de même pour U_2 . L et C sont proportionnels à la longueur de la ligne comme on la vut dans le chapitre détermination des paramètres, donc U_2 est aussi proportionnelle à la longueur de la ligne.

b) Schéma en T :



$$u_1 = L \frac{di}{dt} + u_2 \text{ sachant que } i = \frac{C}{2} \frac{du_2}{dt} \text{ donc } u_1 = \frac{LC}{2} \frac{d^2 u_2}{dt^2} + u_2$$

et en passant en notation complexe on a :

$$U_1 = \left(1 - \frac{LC\omega^2}{2}\right) U_2 \text{ et}$$

$$\boxed{\frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{1 - \frac{LC\omega^2}{2}}} \quad (8)$$

En conclusion, on peut dire qu'à vide on a une surtension à l'extrémité ouverte. En réalité cette surtension est un peu moindre vue les pertes en ligne. On cherche à éviter le régime de marche à vide; car cette surtension conduit à des destructions au niveau des isolateurs, des lignes et au niveau des enroulements des transformateurs.

Courants, puissances active, et réactive à l'extrémité de l'alimentation :

En partant toujours des équations générales et en posant $I_2 = 0$ on a :

$$I_1 = U_2 \frac{Shn1'}{z_c} + I_2 Chn1'$$

$$U_1 = U_2 Chn1' + I_2 z_c Shn1'$$

si $I_2 = 0$ on a

$$\begin{cases} I_1 = U_2 \frac{Shn1'}{z_c} \\ U_1 = U_2 Chn1' \end{cases} \quad \boxed{I_1 = U_1 \frac{Shn1'}{z_c Chn1'}}$$

$$I_1 = U_1 \frac{\text{Sh} \sqrt{ZY}}{c \text{Ch} \sqrt{ZY}} = U_1 \sqrt{\frac{Y}{Z}} \cdot \frac{\text{Sh} \sqrt{ZY}}{\text{Ch} \sqrt{ZY}} = U_1 Y \frac{(\text{Sh} \sqrt{ZY})/\sqrt{ZY}}{\text{Ch} \sqrt{ZY}}$$

En faisant un développement limité on aura:

$$I_1 = Y U_1 \frac{1 + ZY/6 + (ZY)^2/120 + \dots}{1 + ZY/2 + (ZY)^2/24 + \dots}$$

Avec la même approximation c'est à dire pour les lignes dont la longueur est inférieure à 650 Km, la résistance et la conductance sont faibles.

$$ZY = (R + jL\omega)(G + jC\omega) = RG - LC\omega^2 + j(GL\omega + RC\omega) \approx -LC\omega^2$$

$$I_1 = jc\omega l' U_1 \frac{1 - \frac{LC\omega^2}{6}}{1 - \frac{LC\omega^2}{3}} \text{ en utilisant l'équation (8) on trouve :}$$

$$I_1 = jc\omega l' \frac{2U_2 + U_1}{3} = jc\omega l' U \quad (9) \text{ avec } U = \frac{2U_2 + U_1}{3}$$

Le courant à vide est donc égal, en première approximation, à celui que produirait

l'application d'une tension $U = \frac{2U_2 + U_1}{3}$ comprise entre les deux tentions

d'extrémités, à un condensateur de capacité $c l'$, égale à la capacité totale de la ligne.

En considérant les mêmes hypothèses et approximations, la puissance active à l'extrémité d'alimentation est très faible on la considère nulle vue que $R \approx G \approx 0$. Quant à la puissance réactive par phase elle est donnée approxi-

mativement par la relation : $S = UI^* = P + jQ$ comme $P = 0 \Rightarrow jQ_1 = U_1 I_1^*$ vue

la relation (9) $I_1 = jc\omega l' U \Rightarrow jQ_1 = U_1 I_1^* = -jc\omega l' U U_1$

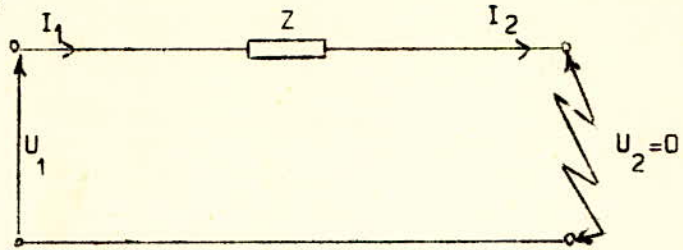
donc $Q_1 = -c\omega l' U_1 U$

La ligne fournit donc une puissance réactive croissant un peu plus vite que sa longueur vue que la tension U croix aussi avec la longueur ; elle est égale à celle qui serait fournie par un condensateur de capacité $c l'$, égale à la capacité totale de la ligne, auquel on appliquerait une tension

$$\sqrt{U_1 U} = U_1 \sqrt{\frac{2U_2 + U_1}{3U_1}} \text{ comprise entre les deux tentions d'extrémités.}$$

La puissance réactive Q_1 est négative comme le montre le calcul c'est à dire elle est dirigée vers l'extrémité d'alimentation, la ligne à vide se comporte donc comme un générateur de puissance réactive qu'elle fournit au réseau d'alimentation.

3-3 Régime de court-circuit :



Dans ce cas $U_2 = 0 \Rightarrow Z_2 = 0$ et avec l'approximation $R \approx G \approx 0$ on a

$$U(x) = U_2 \operatorname{Ch}nx + z_c I_2 \operatorname{Sh}nx$$

$$I(x) = U_2 \frac{\operatorname{Sh}nx}{z_c} + I_2 \operatorname{Ch}nx$$

Comme $U_2 = 0 \Rightarrow \begin{cases} U(x) = z_c I_2 \operatorname{Sh}nx \\ I(x) = I_2 \operatorname{Ch}nx \end{cases}$

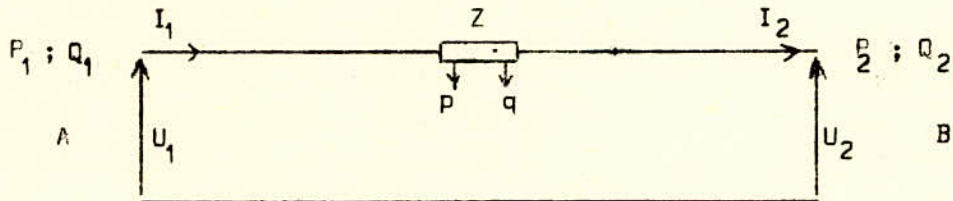
$$n = \sqrt{yz} = \sqrt{j\omega C j\omega L} = j\omega \sqrt{lc} \text{ donc } \begin{cases} \operatorname{Sh}nx = \operatorname{Sh}j\omega \sqrt{lc} x = j \sin \omega \sqrt{lc} x \\ \operatorname{Ch}nx = \operatorname{Ch}j\omega \sqrt{lc} x = \cos \omega \sqrt{lc} x \end{cases}$$

d'où $U(x) = j z_c I_2 \sin \omega \sqrt{lc} x$ $I(x) = I_2 \cos \omega \sqrt{lc} x$

Pour les lignes aérienne on a : $n = j\omega \sqrt{lc} = j 1,05 \cdot 10^{-3} \text{ rad/Km}$ $f = 50 \text{ Hz}$.

A l'aide de cette valeur numérique, on voit aisement que $\cos \omega \sqrt{lc} x$ est négatif pour $x \geq 1500 \text{ Km}$. Cette longueur étant rarement atteinte donc $\cos \omega \sqrt{lc} x$ est toujours positif ce qui nous permet de dire que le courant à toujours la même phase et a un caractère inductif. On voit également, que le courant augmente vers la fin de la ligne. Ceci est due aux courants capacitifs de la ligne.

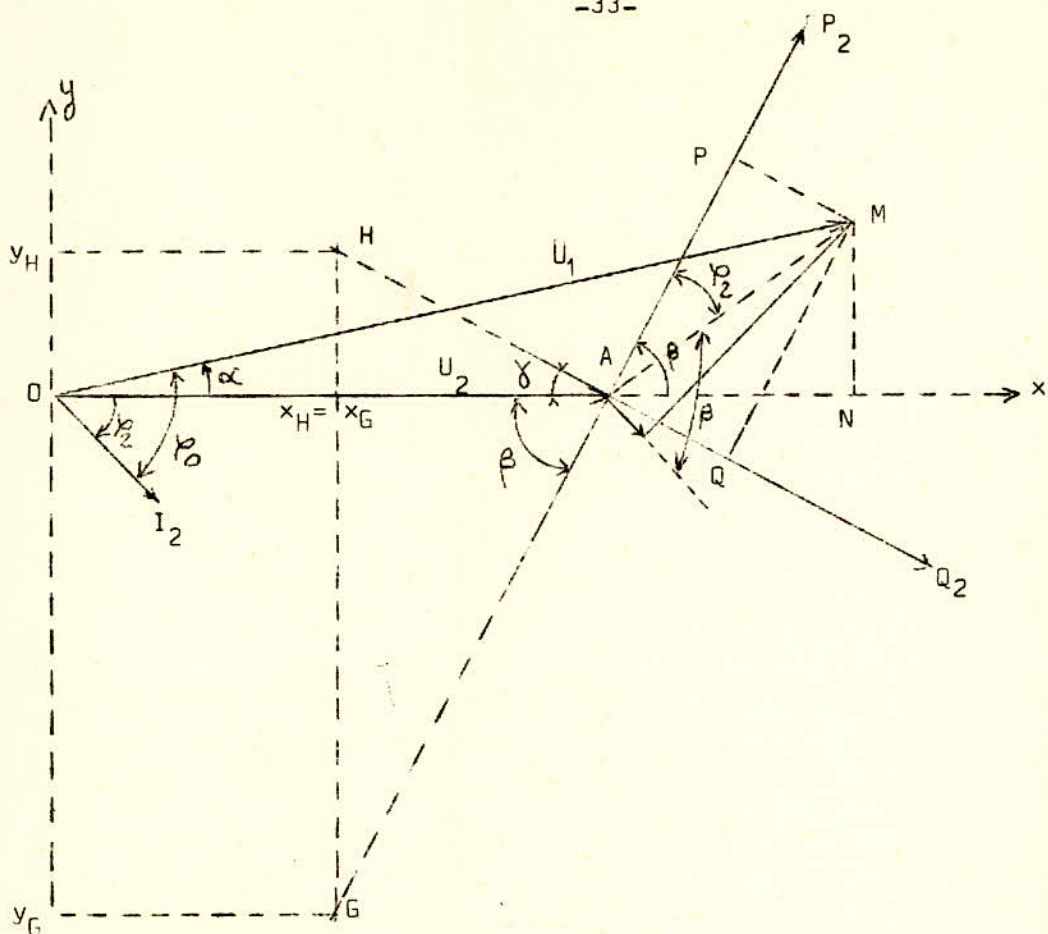
3-4 Fonctionnement en charge, circuit sans capacité ni conductance latérale:



On commencera par faire le diagramme des tensions en partant de la tension à l'arrivé U_2 . Le courant I_2 est en retard de φ_2 sur U_2

$$OA = U_2 \quad OM = U_1 \quad AM = Z I_2$$

Menon par A une droite AP_2 , faisant un angle β avec le prolongement de OA



$\widehat{MAP_2} = \varphi_2$. Le segment $AM=ZI$ représente en grandeur le courant I au facteur Z près. La projection AP de AM sur AP_2 a pour valeur $\overline{AP}=ZI_2 \cos \varphi_2 = \frac{ZP_2}{3U_2}$ donc \overline{AP} représente la puissance P_2 à l'arrivée, au facteur $\frac{Z}{3U_2}$ près. De même $AQ=ZI_2 \sin \varphi_2 = \frac{ZQ_2}{3U_2}$ et \overline{AQ} représente donc la puissance réactive Q_2 à l'arrivée au même facteur près $\frac{Z}{3U_2}$. Sachant que U_2 est la tension simple, donc la droite AP_2 est appelée droite des puissances actives à l'arrivée, et AQ_2 droite des puissances réactives à l'arrivée.

Cherchons maintenant les puissances actives et réactives au départ de la ligne :

$$P_1 = 3U_1 I \cos \varphi_0 = 3U_1 I \cos (\alpha + \varphi_2) = 3U_1 I (\cos \alpha \cos \varphi_2 - \sin \alpha \sin \varphi_2)$$

$$Q_1 = 3U_1 I \sin \varphi_0 = 3U_1 I \sin (\alpha + \varphi_2) = 3U_1 I (\sin \alpha \cos \varphi_2 + \cos \alpha \sin \varphi_2)$$

Abaissons de M une perpendiculaire \overline{MN} sur \overline{OA} , nous aurons :

$$\overline{MN} = U_1 \sin \alpha = XI \cos \varphi_2 - RI \sin \varphi_2$$

de ce système on tire :

$$\overline{AN} = U_1 \cos \alpha - U_2 = RI \cos \varphi_2 + XI \sin \varphi_2$$

$$Z^2 I \cos \varphi_2 = XU_1 \sin \alpha + RI \cos \alpha - RU_2$$

et en remplaçant dans les relations

$$Z^2 I \sin \varphi_2 = -RU_1 \sin \alpha + XU_1 \cos \alpha - XU_2$$

donnant P_1 et Q_1 on aura :

$$P_1 = \frac{3U_1 U_2}{Z^2} (X \sin \alpha - R \cos \alpha) + \frac{3R}{Z^2} U_1^2 = - \frac{3U_1 U_2}{Z} \cos(\alpha + \beta) + \frac{3RU_1^2}{Z^2} \quad (10)$$

$$Q_1 = - \frac{3U_1 U_2}{Z^2} (R \sin \alpha + X \cos \alpha) + \frac{3X}{Z^2} U_1^2 = - \frac{3U_1 U_2}{Z} \sin(\alpha + \beta) + \frac{3XU_1^2}{Z^2}$$

Prenons pour axes de coordonnées Ox suivant OA et perpendiculairement à Oy; les coordonnées du point M sont: $x = U_1 \cos \alpha$ $y = U_1 \sin \alpha$
 En remplaçant dans le système (10): $U_1 \cos \alpha$ par x et $U_1 \sin \alpha$ par y on obtiendra les lieux des point M correspondant à une puissance active ou réactive constante au départ, quand la tension U_2 est fixe, sous la forme:

$$P_1 Z^2 = 3U_2 (Xy - Rx) + 3R(x^2 + y^2) \Rightarrow x^2 + y^2 - U_2 x + \frac{X}{R} U_2 y - \frac{Z^2}{3R} P_1 = 0$$

$$Q_1 Z^2 = -3U_2 (Ry + Xx) + 3X(x^2 + y^2) \Rightarrow x^2 + y^2 - U_2 x - \frac{R}{X} U_2 y - \frac{Z^2}{3X} Q_1 = 0$$

$$\left(x - \frac{U_2}{2}\right)^2 + \left(y + \frac{XU_2}{2R}\right)^2 - \frac{U_2^2}{4} - \frac{X^2 U_2^2}{4R^2} - \frac{Z^2}{3R} P_1 = 0 \Rightarrow \left(x - \frac{U_2}{2}\right)^2 + \left(y + \frac{XU_2}{2R}\right)^2 = \frac{U_2^2}{4 \cos^2 \beta} + \frac{Z^2}{3R} P_1$$

$$\left(x - \frac{U_2}{2}\right)^2 + \left(y - \frac{RU_2}{2X}\right)^2 - \frac{U_2^2}{4} - \frac{R^2 U_2^2}{4X^2} - \frac{Z^2}{3X} Q_1 = 0 \Rightarrow \left(x - \frac{U_2}{2}\right)^2 + \left(y - \frac{RU_2}{2X}\right)^2 = \frac{U_2^2}{4 \sin^2 \beta} + \frac{Z^2}{3X} Q_1$$

Ce sont deux familles de cercles, et chaque famille à un centre unique ($U_2 =$ constante, R et X sont aussi constantes), Pour les puissances actives $P_1 =$ constante au point G de coordonnées $X_G = \frac{U_2}{2}$ $Y_G = \frac{XU_2}{2R} = - \frac{U_2}{2} \operatorname{tg} \beta$
 pour les puissances réactives $Q_1 =$ constante au point H de coordonnées $X_H = \frac{U_2}{2}$ et $Y_H = \frac{U_2}{2} \cdot \frac{R}{X} = \frac{U_2}{2} \operatorname{cotg} \beta = \frac{U_2}{2} \operatorname{tg} \delta$

3-5 Fonctionnement en charge circuit avec capacité et conductance latérale

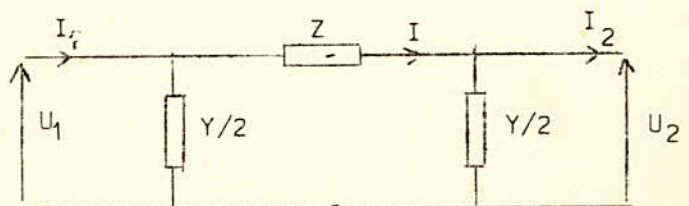
On a vu dans le paragraphe (3-1) que les équations de fonctionnement de ce circuit étaient de la forme :

$$U(x) = U_2 \operatorname{Ch} nx + Z_c I_2 \operatorname{Sh} nx \quad U_1 = U_2 \operatorname{Ch} n1 + Z_c I_2 \operatorname{Sh} n1$$

et pour $x=1$ avec $n = \sqrt{ZY}$

$$I(x) = U_2 \frac{\operatorname{Sh} nx}{Z_c} + I_2 \operatorname{Ch} nx \quad I_1 = U_2 \frac{\operatorname{Sh} n1}{Z_c} + I_2 \operatorname{Ch} n1$$

Schéma équivalent en Π :



$$U_1 = ZI + U_2 = Z(I_2 + \frac{Y}{2} U_2) + U_2 = U_2 (1 + \frac{ZY}{2}) + ZI_2$$

$$I_1 = I + \frac{Y}{2} U_1 = I_2 + \frac{Y}{2} U_2 + \frac{Y}{2} (1 + \frac{ZY}{2}) U_2 + \frac{ZY}{2} I_2$$

$$I_1 = U_2 (Y + \frac{ZY^2}{4}) + I_2 (1 + \frac{ZY}{2})$$

$$\begin{pmatrix} U_1 \\ I_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 + \frac{ZY}{2} \\ Y + \frac{ZY^2}{4} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Z \\ 1 + \frac{ZY}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_2 \\ I_2 \end{pmatrix}$$

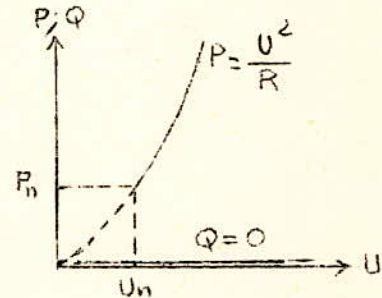
3-6 Caractéristiques des usagers aux bornes des postes d'alimentation:

Par les caractéristiques des usagers on comprend la variation des puissances actives et réactives en fonction de la tension. Elles sont nécessaires pour connaître le comportement des usagers vis à vis de la variation de la tension et afin de prendre les meilleures décisions.

3-6-1 Usagers purement résistifs :

$$P = \frac{U^2}{R} \quad Q = 0$$

R est la résistance de l'usager
 P est la puissance active absorbée par l'usager
 U la tension de service.

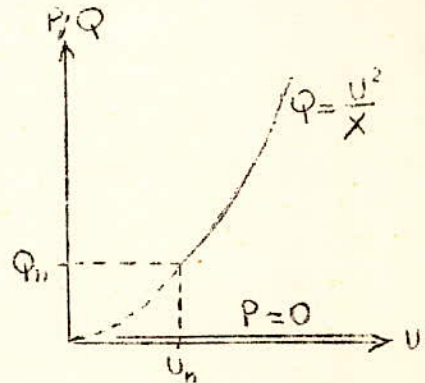


Les usagers purement résistifs absorbent de la puissance active et ne consomment pas de puissance réactive vu que leur facteur de puissance est égal à l'unité.

3-6-2 Usagers purement inductifs :

$$P = 0 \quad Q = \frac{U^2}{X}$$

P est la puissance active
 Q est la puissance réactive absorbée par l'usager
 U est la tension de service
 X est la réactance de l'usager



La plupart des appareils d'utilisation sont des consommateurs d'énergie réactive puisqu'ils fonctionnent grâce à un champ magnétique.

Les machines synchrones ont la faculté de consommer ou de produire l'énergie réactive selon qu'elles sont respectivement sous ou surexcitées. Parmi les moteurs les plus courants durant leur marche normale, on peut donner les valeurs habituelles suivantes :

- moteur asynchrone monophasé $\text{tg}\varphi = 1,3 + 0,75$
- " " triphasé $\text{tg}\varphi = 1,3 + 0,9$
- " à collecteur $\text{tg}\varphi = 1,3 + 1$

Au moment du démarrage, il y a un appel très important de puissance réactive et on peut atteindre des valeurs de $\text{tg}\varphi$ de 4 à 5.

Les transformateurs absorbent de la puissance réactive magnétisante, pour maintenir le champ magnétique dans le noyau. La réactance de fuite de ces appareils en absorbe aussi. Les autres usagers qui consomment de la puissance réactive sont les lampes fluorescentes ($\text{tg}\varphi = 2$) et les fours électriques.

3-6-3 Usagers purement capacitifs :

Dans ce cas l'usager fournit de la puissance réactive, et ne consomme pas de puissance active

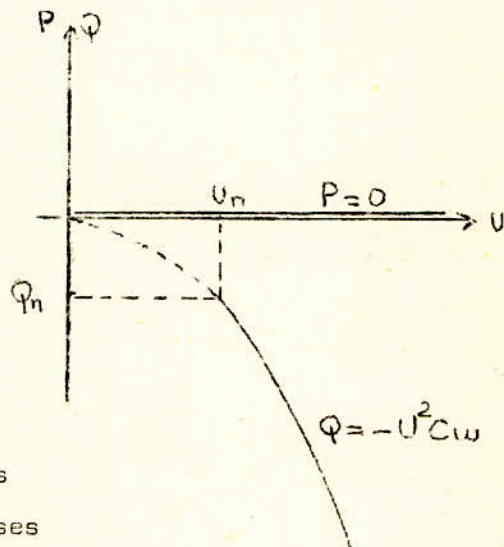
$$P = 0 \quad Q = -C\omega U^2$$

Les éléments du réseau fournissent de la puissance réactive.

Les ordres de grandeurs sont les suivants:

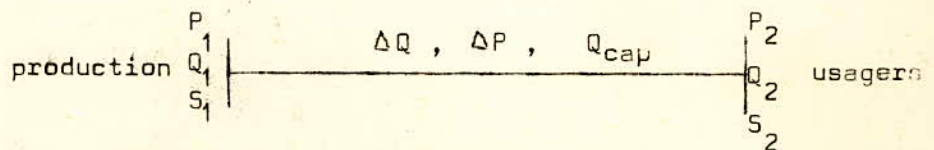
- L.E.A. 20 Kv.....1 Kvar/Km/3phases
- L.E.C. 20 Kv.....20Kvar/Km/3 phases
- L.E.A.220 Kv.....150/Kvar/Km/3 phases
- L.E.C.220 Kv.....3Mvar /Km/3 phases

Les moteurs synchrones peuvent fournir de l'énergie réactive dans le cas où ils sont surexcités. Les condensateurs fournissent aussi de la puissance réactive.



3-7 Le $\cos\varphi$ du système :

Considérons un transport d'énergie électrique d'une station notée 1 à une station notée 2.



Le $\cos\varphi$ au niveau des jeux de barres est $\cos\varphi = \frac{P_2}{S_2}$. Sachant que P_2 est la somme algébrique de toutes les puissances des usagers rapportées aux jeux de barres, et $S_2 = \sqrt{3} U_2 I_2$. La détermination du $\cos\varphi$ nous informe sur la valeur de la puissance réactive.

3-8 Bilan de l'énergie réactive :

Envisageons la notation suivante :

ΔQ est la perte de puissance réactive en ligne: $\Delta Q = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} X$

Q_{cap} est la puissance réactive produite par la ligne $Q_{cap} = U_n^2 C \omega$

Q_1 est la puissance réactive produite par la station n° 1

Q_2 est la puissance réactive consommée à la station n° 2

Alors le bilan de la puissance réactive se traduit par l'équation :

$$Q_1 + Q_{cap} = \Delta Q + Q_2$$

Le bilan de l'énergie réactive nous permet de connaître la puissance réactive Q_1 nécessaire au bon fonctionnement de la ligne.

IV ROLE DU REGLAGE DE LA PUISSANCE REACTIVE

Le réglage de la puissance réactive est devenu de nos jours une nécessité, car tout transport de puissance réactive augmente les pertes de puissance et la chute de tension. Il permet aussi le maintien de la tension aux différents nœuds du réseau. Le transit de la puissance réactive occasionne une diminution de la capacité de transport de la ligne.

4-1 Pertes actives et réactives en ligne:

Nous noterons les pertes de puissance active par ΔP et les pertes de puissance réactive par ΔQ .

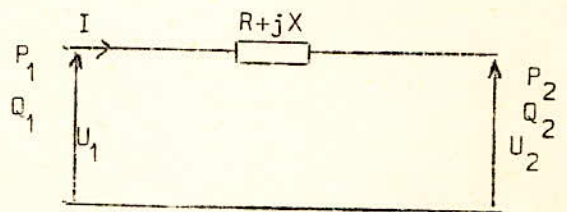
4-1-1 Cas de la ligne sans admittance parallèle:

Pertes actives:

$$\Delta P = R I^2 = R \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_1^2} = R \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2}$$

Pertes réactives:

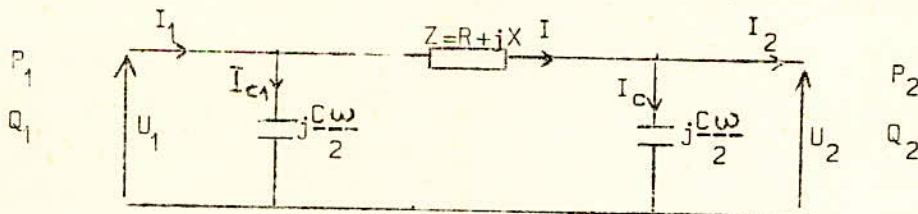
$$\Delta Q = X I^2 = X \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_1^2} = X \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2}$$



Les pertes de puissances actives sont dues au passage du courant à travers la résistance de la ligne (effet Joule); celles des puissances réactives sont dues au même passage du courant par l'inductance de la ligne.

4-1-2 Cas de la ligne avec susceptance en parallèle:

Nous calculons les pertes en se servant du schéma équivalent en \overline{II} .



Pertes actives:

$$\Delta P = R I^2 = R |\overline{I}_2 + \overline{I}_c|^2 = R \left| \frac{P_2 - jQ_2}{U_2} + j \frac{C\omega}{2} U_2 \right|^2 = R \left[\frac{P_2^2}{U_2^2} + \left(\frac{Q_2}{U_2} - \frac{C\omega}{2} U_2 \right)^2 \right]$$

en réduisant au même dénominateur nous aurons:

$$\Delta P = \frac{P_2^2 + \left(Q_2 - \frac{C\omega}{2} U_2^2 \right)^2}{U_2^2} R$$

Pertes réactives:

Pour avoir les pertes réactives il nous suffit simplement de remplacer R par X dans l'équation donnant ΔP .

$$\Delta Q = \frac{P_2^2 + (Q_2 - \frac{C\omega U_2^2}{2})^2}{U_2^2} X$$

On pourra donner ces relations en fonction des puissances active et réactive à l'entrée de la ligne.

$$P = R I^2 = R \left| \bar{I}_1 - \bar{I}_{c1} \right|^2 = R \left| \frac{P_1 - jQ_1}{U_1} - j \frac{C\omega}{2} U_1 \right|^2 = R \left[\frac{P_1^2}{U_1^2} + \left(\frac{Q_1}{U_1} + \frac{C\omega}{2} U_1 \right)^2 \right]$$

en réduisant au même dénominateur nous aurons:

$$\Delta P = \frac{P_1^2 + (Q_1 + \frac{C\omega}{2} U_1^2)^2}{U_1^2} R$$

de même

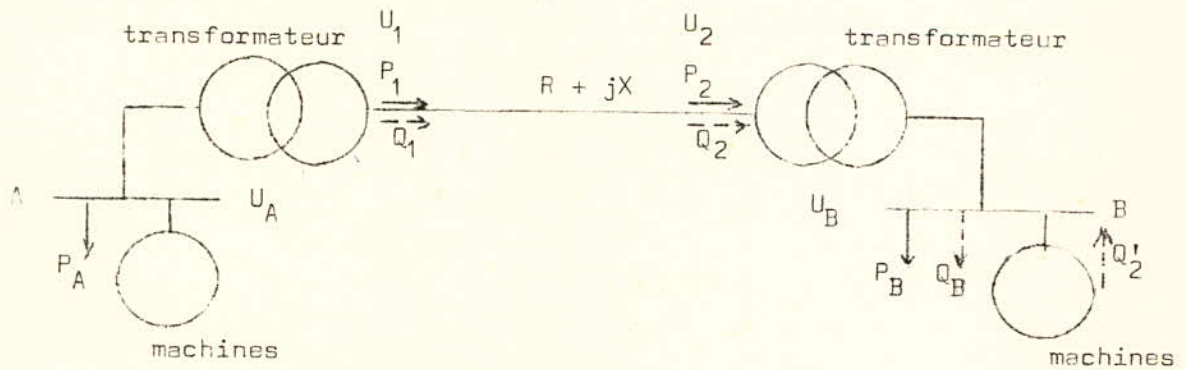
$$\Delta Q = \frac{P_1^2 + (Q_1 + \frac{C\omega}{2} U_1^2)^2}{U_1^2} X$$

Conclusion:

On voit aisément à travers les formules donnant les pertes actives et réactives en ligne que pour avoir un transport économique c'est à dire avec un minimum de pertes il faut minimiser le transit de puissance réactive (Q). D'autre part, on ne peut pas diminuer la puissance active car elle est fixée par le consommateur.

4-2 Chute de tension:

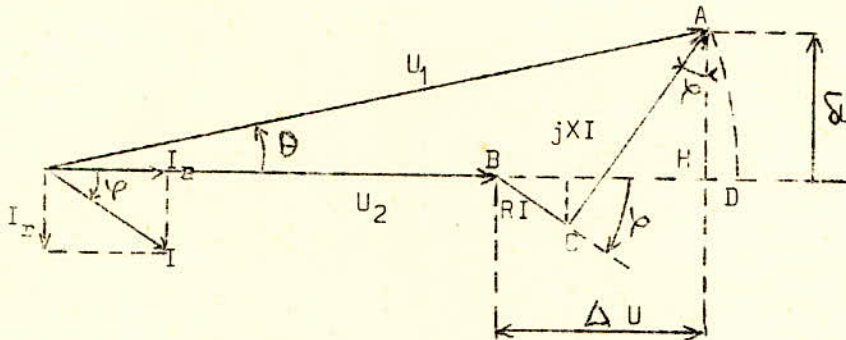
Considérons deux stations A et B reliées entre elles par un ensemble de lignes et de transformateurs. Pour simplifier on ne tiendra pas compte des effets de l'admittance des lignes, ce qui laisse à supposer que la liaison AB est assimilable à une impédance $Z = R + jX$



Par convention on considère que les puissances actives et réactives sont positives quand elles circulent de A vers B. Etant donné qu'on néglige les effets de l'admittance des lignes le courant sera le même partout dans la ligne, et il sera égal à $\bar{I} = \bar{I}_a - jI_r$. Le déphasage est fixé par la station réceptrice B qui est ici considérée inductive vue qu'elle absorbe de la puissance réactive Q_2 . $I_a = I \cos \phi$ est la composante active et $I_r = I \sin \phi$ est la composante réactive du courant.

Les puissances P et Q sont considérées par phase si U est la tension simple.
diagramme des tensions et des courants:

Nous prendrons comme origine des phases la tension U_2 . Soient ΔU la composante de la chute de tension suivant U_2 qui est une différence algébrique entre les tensions U_1 et U_2 ($\Delta U = U_1 - U_2$) et δU la composante perpendiculaire à la tension U_2 . δU est liée au décalage θ .



En confondant la différence des tensions $U_1 - U_2 = \Delta U = BD$ avec le segment BH on a:

$$\Delta U = RI \cos \varphi + XI \sin \varphi$$

$$\delta U = XI \cos \varphi - RI \sin \varphi$$

$$\Delta U = RI_a + XI_r$$

$$\delta U = XI_a - RI_r$$

on pourra introduire les puissances active et réactive par phase en multipliant par la tension

$$\Delta U = \frac{RU_a I_a + XU_r I_r}{U_2}; \quad \boxed{\Delta U = \frac{RP + XQ}{U_2}}$$

$$\delta U = \frac{XU_a I_a - RU_r I_r}{U_2}; \quad \boxed{\delta U = \frac{XP - RQ}{U_2}}$$

Dans le cas où U est la tension composée et les puissances sont totales et non pas par phase, les chutes de tension seront entre phases.

$$P_{2t} = 3P_2, \quad Q_{2t} = 3Q_2, \quad \Delta U_c = \sqrt{3} \Delta U, \quad U_c = \sqrt{3} U$$

$$\boxed{\Delta U_c = \frac{RP_{2t} + XQ_{2t}}{U_{2c}}}$$

$$\boxed{\delta U_c = \frac{XP_{2t} - RQ_{2t}}{U_{2c}}}$$

Ces relations montrent que le transport de l'énergie électrique entre deux points d'un réseau s'accompagne d'une chute de tension $U_1 - U_2$ et d'un décalage entre les tensions U_1 et U_2 . Il en résulte que les grandeurs U, P et Q ne peuvent être choisies indépendamment les unes des autres. Si R est assez faible devant X, la chute de tension ΔU est principalement due au transport de la puissance réactive de A vers B tandis que δU qui caractérise le

décalage θ dépend surtout du transport de la puissance active. Pour réduire l'importance des chutes de tension ΔU , il faut donc éviter de transporter la puissance réactive, et dans la mesure du possible, la puissance réactive devrait être produites à l'endroit où elle est consommée. Dans l'exemple considéré, c'est la station B et non pas A qui devrait fournir la puissance Q_B absorbée en B

4-3 Réglage de la tension par injection de la puissance réactive:

La tension U_1 étant maintenue constante par une intervention convenable des excitations des machines qui y sont branchées, si l'on veut qu'il en soit de même pour U_2 et par suite de la chute de tension $\Delta U = U_1 - U_2$ quelle que soit la puissance P reçue en B, il suffit, d'après l'expression: $\Delta U = \frac{RP_2 + XQ_2}{U_2}$ que

la puissance réactive Q_2 reçue en B varie en fonction de P_2 suivant la loi:

$$Q_2 = \frac{U_2 \Delta U - RP_2}{X} = K - \frac{R}{X} P_2 \quad K \text{ étant une constante } K = \frac{U_2 \Delta U}{X}$$

On voit donc que le fait de contrôler la puissance réactive Q_2 à l'arrivée de la ligne en B permet le réglage de la tension U_2 . Ce contrôle se fait évidemment en agissant sur la production de puissance réactive en B et ce procédé de réglage de la tension porte le nom de réglage par injection de puissance réactive; à cause du rôle régulateur qu'elle joue, cette puissance réactive est souvent appelée puissance de compensation.

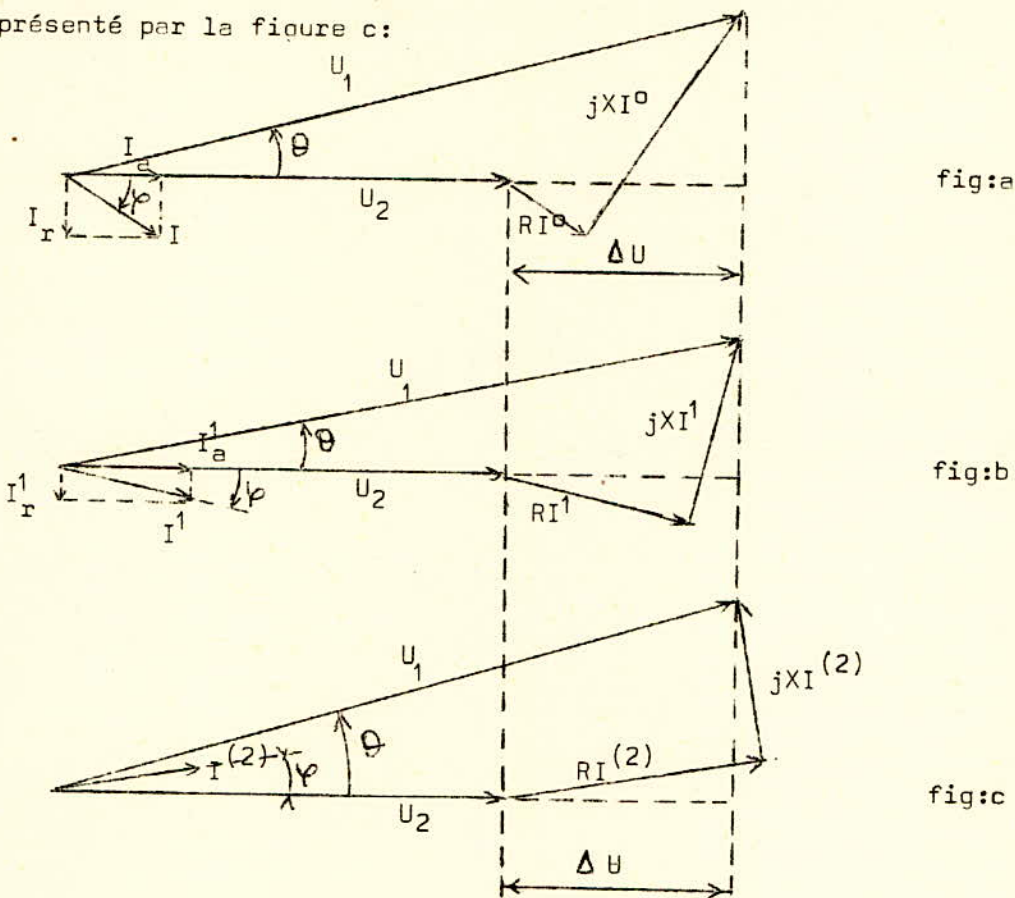
4-3-1 Mécanisme du réglage:

Pour bien préciser le mécanisme du réglage, reprenons le diagramme des tensions et supposons qu'à faible charge le transport de A vers B de la puissance active P_2^0 et de la puissance réactive Q_2^0 produise la chute de tension admissible ΔU_{adm} . Si P_2 croit et prend la valeur P_2^1 , pour que la chute de tension conserve la même valeur ΔU_{adm} que précédemment, il faut que la puissance réactive Q_2 en ligne à l'arrivée devienne Q_2^1 telle que:

$$Q_2^1 = K - \frac{R}{X} P_2^1 \quad \text{Comme } P_2^1 > P_2^0 \text{ donc } Q_2^1 < Q_2^0 \text{ . Par conséquent la station B}$$

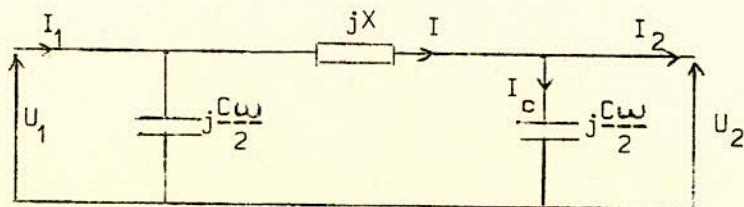
devra fournir, outre la puissance réactive Q_B consommée par la charge B, la différence $Q_2^0 - Q_2^1 = \frac{R}{X} (P_2^1 - P_2^0)$ qui est dirigée de B vers A. Le diagramme dans ce cas est représenté par la figure b. Le déphasage du courant sur la tension diminue vu que Q_2^0 diminue et P_2^0 augmente ($\text{tg } \varphi_0 = \frac{Q_2^0}{P_2^0}$ $\text{tg } \varphi_1 = \frac{Q_2^1}{P_2^1}$)

Enfin si la puissance P_2^0 augmente encore, la puissance réactive injectée en B augmente aussi et l'angle φ change de signe. Le diagramme dans ce cas est représenté par la figure c :



4-4 Cas des lignes avec admittance transversale:

On va considérer un réseau de transport reliant deux centres de consommation et de production (1) et (2). Supposons que les tensions U_1 et U_2 doivent être maintenues constantes quelle que soient les puissances transportées. La chute de tension doit donc elle aussi rester constante. Pour tracer le diagramme de la ligne, établi avec U_2 comme tension de base donnant la correspondance entre la puissance réactive et la puissance active absorbées par le réseau de consommation, on négligera la résistance de la ligne et sa conductance. Enfin le calcul sera semblable lorsqu'on ne fait pas cette approximation.

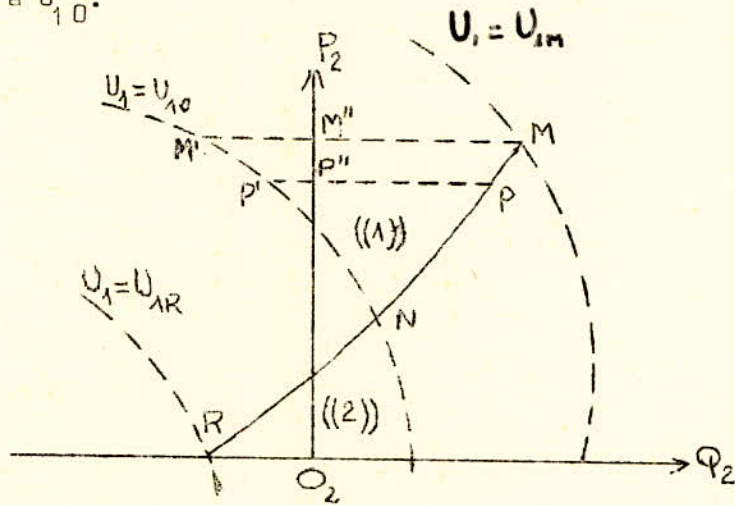


$$U_1 = U_2 + jXI = U_2 + jX(I_2 + I_c) = U_2 + jX(I_2 + j \frac{C\omega}{2} U_2) = U_2 + jX(-\frac{P_2 - jQ_2}{U_2} + j \frac{C\omega}{2} U_2)$$

$$U_1 = U_2 - \frac{C\omega X}{2} U_2 + \frac{Q_2}{U_2} X + j \frac{P_2}{U_2} X \Rightarrow U_1^2 = (U_2 - \frac{C\omega X}{2} U_2 + \frac{Q_2}{U_2} X)^2 + (\frac{P_2}{U_2} X)^2$$

$$\frac{U_1^2}{X^2} - \frac{U_2^2}{X^2} = (\frac{U_2}{X} - \frac{C\omega}{2} U_2 + \frac{Q_2}{U_2})^2 + P_2^2 \Rightarrow P_2 = \sqrt{\frac{U_1^2 U_2^2}{X^2} - (\frac{U_2}{X} - \frac{C\omega U_2^2}{2} + Q_2)^2}$$

Cette courbe qui sera tracée point par point en prenant U_1 comme paramètre. U_2 étant constante on se fixe pour chaque point une tension U_1 . Lorsque le réseau de transport passe du fonctionnement à puissance active nulle à l'arrivée au fonctionnement à pleine charge, représentés respectivement par les points R et M, la tension U_1 devrait varier entre U_{1R} et U_{1M} , puisque U_2 reste constant. Or, nous voulons que U_1 reste aussi constant par conséquent, il faut que le point figuratif du diagramme se déplace sur le cercle d'égale tension au départ qui correspond à U_{10} .



Pour arriver à ce résultat, il faut déplacer le point figuratif de P en P', c'est à dire qu'à partir de la station réceptrice(2), il faut injecter de la puissance réactive dans le réseau lorsque P est compris entre les points N et M. Au contraire il faut prélever à partir de la station (2) de la puissance réactive lorsque le point figuratif est compris entre N et R. La valeur de cette puissance réactive à l'arrivée est donnée en grandeur et en signe par le segment PP'; elle est négative et correspond au branchement en dérivation d'un condensateur à l'extrémité réceptrice lorsque cette puissance réactive est

dirigée de la station d'arrivée vers le réseau considéré, c'est-à-dire dans toute la zone marquée ((1)) sur la figure. Elle est positive et correspond au branchement en dérivation d'une bobine de self-induction lorsque la puissance réactive se dirige du réseau vers l'extrémité réceptrice, c'est ce qui se passe dans la zone marquée ((2)).

4-5 Bonne utilisation de la capacité de transport des lignes:

Etant donné que la ligne est dimensionnée du point de vue section, écartement des conducteurs ect... Pour une certaine puissance apparente admissible; pour augmenter la capacité de transport de la ligne c'est-à-dire pouvoir accroître le transit de puissance active il est intéressant d'éviter le transit de la puissance réactive et cela peut se constater aisément à travers l'équation suivante:

$$I_{adm} = SJ = \sqrt{I_a^2 + I_r^2}$$

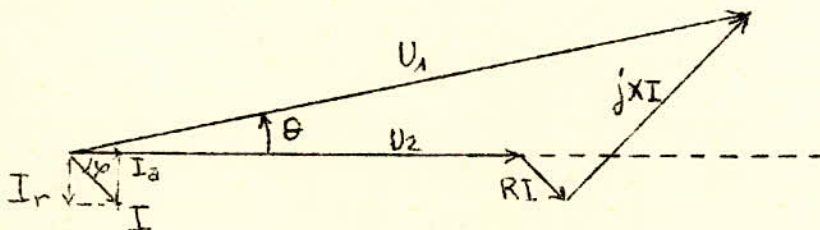
Si on veut avoir une capacité de transport de la ligne la plus grande possible c'est-à-dire un courant actif I_a le plus grand possible il faudra diminuer le courant réactif I_r vu que I_{adm} ne peut pas être dépassé.

Même si dans certains endroits la consommation d'une puissance réactive est nécessaire, celle-ci est produite sur place sans l'apporter par le réseau de transport depuis l'alternateur. Outre ça, l'alternateur sera utilisé d'une manière optimale pour la production de la puissance active.

Un transport de puissance réactive suppose:

- Des sections plus grandes pour la même puissance active.
- Des unités de productions d'énergie électrique (alternateur) supplémentaires pour la même puissance active.

4-6 Chute de tension dans le cas où l'angle θ de phase entre U_1 et U_2 est assez important:



$$U_1 = U_2 + RI + jXI = U_2 + R(I_a - jI_r) + jX(I_a - jI_r) = U_2 + RI_a + XI_r + j(XI_a - RI_r)$$

$$U_1^2 = (U_2 + RI_a + XI_r)^2 + (XI_a - RI_r)^2 = (U_2 + RI_a + XI_r)^2 \left[1 + \left(\frac{XI_a - RI_r}{U_2 + RI_a + XI_r} \right)^2 \right]$$

Posons $x = \frac{XI_a - RI_r}{U_2 + RI_a + XI_r}$ cette valeur étant voisine de zéro on pourra appliquer un

développement limité de $\sqrt{1 + x^2}$

$$U_1 = (U_2 + RI_a + XI_r) \sqrt{1 + x^2} = (U_2 + RI_a + XI_r) \left(1 + \frac{x^2}{2} + \dots\right) \text{ remplaçons } x \text{ par sa valeur}$$

$$(XI_a - RI_r)^2$$

on aura: $U_1 = U_2 + RI_a + XI_r + \frac{(XI_a - RI_r)^2}{2(U_2 + RI_a + XI_r)}$

et en négligeant la valeur $RI_a + XI_r$ devant U_2 on a:

$$U_1 = U_2 + RI_a + XI_r + \frac{(XI_a - RI_r)^2}{2U_2} = U_2 + RI_a + XI_r + \frac{(\delta U)^2}{2U_2}$$

$$U_1 - U_2 = \Delta U = RI_a + XI_r + \frac{(\delta U)^2}{2U_2}$$

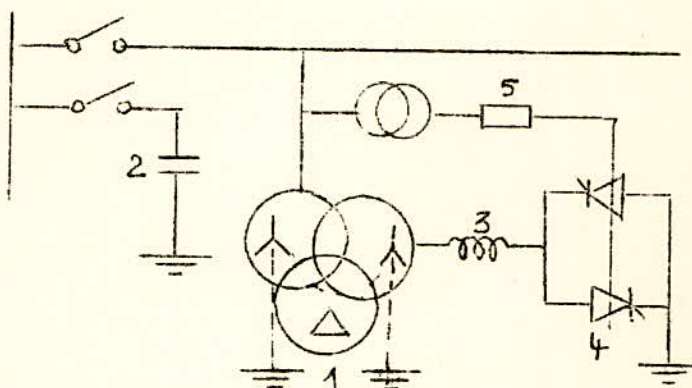
V - MOYENS DE COMPENSATION

Dernièrement ce sont imposés en pratique, quelques moyens de compensation de l'énergie réactive.

5-1 Compensateur statique et réglable de puissance réactive pour réseaux à HT 1

5-1-1 Schéma de principe du réacteur compensateur statique:

- 1 transformateur réacteur
- 2 condensateur
- 3 inductance
- 4 soupape à thyristors ou régleur de courant triphasé
- 5 régulateur.



Pour résoudre les différents problèmes relatifs à la compensation de la puissance réactive dans les réseaux à haute tension et pour améliorer l'utilisation des installations, il faut utiliser une installation de compensation en parallèle ayant les caractéristiques suivantes.

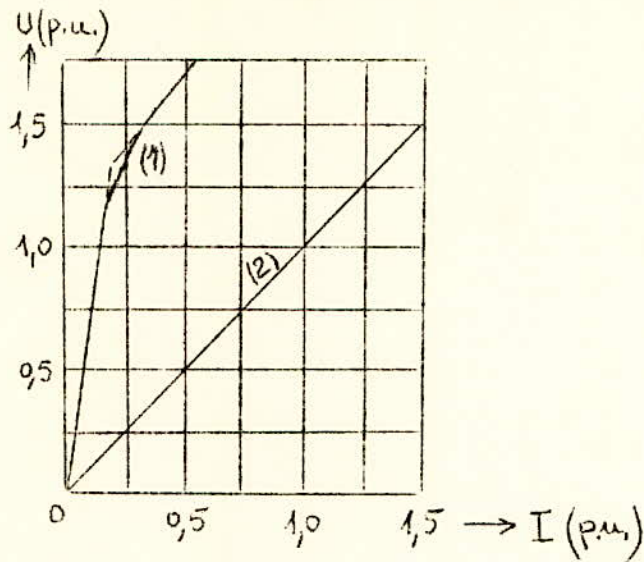
- Puissance réactive réglable entre une valeur limite capacitive et une valeur limite inductive.
- Vitesse de réglage élevée.
- Pas de masse en rotation (pas d'inertie) et par conséquent pas de problème de stabilité.
- Pas de contribution à la puissance de court-circuit.
- Faible entretien.
- Haute disponibilité et fiabilité.
- Pas d'influences perturbatrices sur dispositifs de protection existants.
- Pas d'excitation de surtensions ferro-résonnantes par saturation.
- Raccordement direct aux lignes de transport.
- Pas de changeurs de prises de réglage ou d'autres dispositifs de réglage

Caractéristiques des différents dispositifs de compensation de puissance réactive, données par un groupe d'étude international:

Variantes	Vitesse de réglage approximative en secondes	Des variations de fréquence sont-elles compensables	Des enroulements supplémentaires ou tertiaires sont-ils nécessaires pour l'accordement à la HT	Le dispositif est-il utilisable pour la compensation asymétrique
a Réacteur linéaire	--	non	non	non
b Réacteur saturé	--	oui	oui	non
c compensateur statique	0,02 à 0,05	oui	oui	non
d Réacteur à prémagnétisation par courant continu.	0,1	oui	non	oui
e Compensateur synchrone	0,1 à 2	oui	oui	non
f Condensateurs commutés par thyristors	0,01	oui	oui	oui
g Réacteur en parallèle commandé par thyristors	0,01	oui	oui	oui
h Transformateurs à dispersion commandés par thyristors	0,01	oui	non	oui
i Transformateur-réacteur en parallèle avec source de puissance réactive réglable (compensateur statique)	0,01	oui	non	oui

Comme il ressort de ce tableau, seules les deux dernières variantes se rapprochent de toutes les caractéristiques désirables, la variante h ayant l'inconvénient d'un transformateur qui se sature au-dessus d'une tension déterminée, alors que la variante i ne présente pas de saturation dans le domaine où elle est utilisée. Pour la compensation, il s'impose donc un dispositif ayant les caractéristiques de la variante i.

Caractéristiques à vide (1) et en charge (2) du transformateur-réacteur:



5-1-2 Description et principe de fonctionnement:

Le compensateur statique est formé par un transformateur-réacteur dont l'enroulement primaire est directement relié à la ligne HT et l'enroulement secondaire aux organes à thyristors par l'intermédiaire de bobines d'inductance. Par l'amorçage des thyristors avec un angle de retard ajustable α , entre $\alpha = 90^\circ \text{él.}$ et $\alpha = 180^\circ \text{él.}$, on détermine la puissance réactive absorbée entre ces valeurs de court-circuit et de marche à vide. La valeur de court-circuit est déterminée par l'inductance de dispersion et les bobine d'inductance, tandis que la valeur relative à la marche à vide l'est par la puissance de magnétisation du transformateur - réacteur. Les valeurs intermédiaires sont atteintes très rapidement et d'une façon continue. Les harmoniques apparaissent lors d'un choix approprié du circuit de protection peuvent être éliminés en partie par un enroulement de compensation. Le reste est relativement faible et peut être encore réduit par des filtres. On construit actuellement des compensateurs statiques pour des tensions et des puissances atteignant respectivement 765 Kv et 400 MVA. La régulation peut être réalisée sous forme d'une régulation de tension pure ou avec superposition de signaux soutenant la stabilité et ayant un effet d'amortissement.

5-1-3 Comparaison économique avec un compensateur synchrone:

A effet égal, les frais d'installation, compte non tenu des fondations etc... Sont inférieurs à ceux relatifs à un compensateur synchrone, dans pratiquement tous les cas étudiés jusqu'à présent. Les frais relatifs aux pertes et les frais

d'entretien sont beaucoup plus faibles. En outre, les solutions statiques offrent essentiellement une disponibilité élevée, une longue durée de vie et un comportement en service sans problème. Une attention spéciale a été accordée au maintien et à l'accroissement de ces avantages découlant du principe même du système dans la construction.

5-1-4 Dimensionnement du compensateur statique:

Un compensateur, également, ne peut maintenir la tension aux bornes, au point de raccordement au réseau, constante que dans une mesure limitée, car la puissance réactive maximale que le réacteur peut échanger est elle-même limitée. En tenant compte de la caractéristique du réseau, on peut, à l'aide d'un calcul du flux de puissance, déterminer la caractéristique stationnaire d'un compensateur représenté sur la figure suivante.

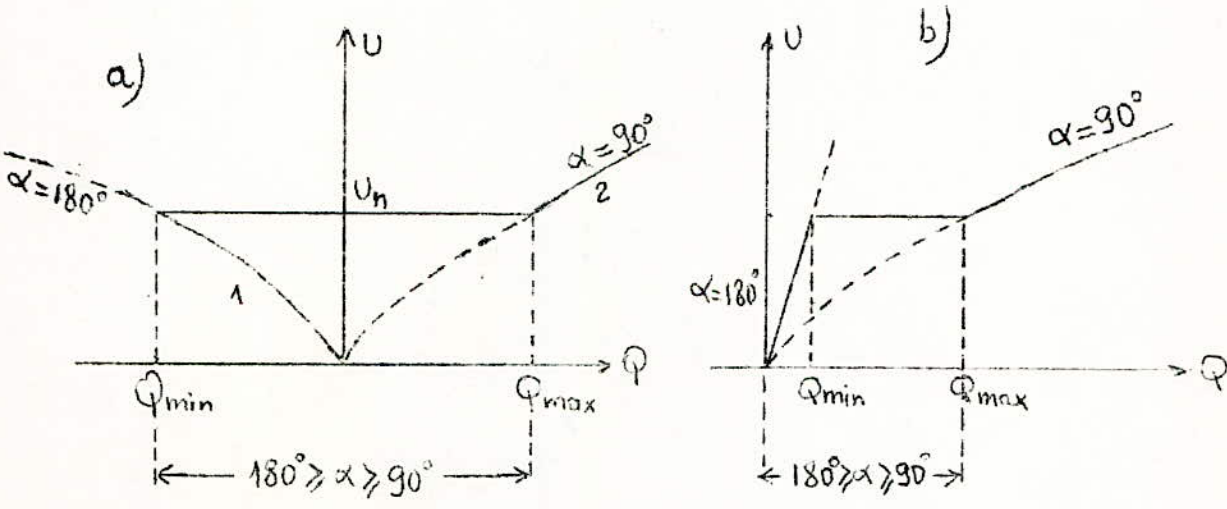
Caractéristique $U = f(Q)$ d'un compensateur statique raccordé au réseau:

a: avec condensateur

U: tension au point de raccordement

b: sans condensateur

Q: puissance réactive du compensateur



Grâce à la possibilité de réglage très rapide de son admittance Y , ce compensateur peut influencer la tension dans un réseau de telle sorte que:

- 1) Les surtensions transitoires ou temporaires soient limitées.
- 2) Les oscillations transitoires et les oscillations de puissance soient amorties d'une manière optimale. Lorsque le régleur de courant triphasé est commandé à pleine ouverture ou à pleine fermeture, le dispositif se comporte comme une inductance ou comme une capacité.

Q_{max} est déterminé par la charge de réseau Q_L à compenser. Habituellement, on choisit Q_{max} de façon à ce que 50 à 80% de Q_L soient compensés.

La limite inférieure Q_{mini} de la puissance réactive de compensation détermine la limite de stabilité du transport.

5-1-5 Constitution du transformateur-réactive:

Il possède des noyaux magnétiques radialement feuilletés, subdivisés plusieurs fois par des fentes ferromagnétiques. Ainsi, on obtient un comportement linéaire aussi bien à vide qu'en charge. La dispersion entre côtés primaire et secondaire est maintenue très élevée. Un enroulement de compensation en triangle, couplé étroitement avec le côté secondaire est prévu pour la compensation des courants d'harmoniques. Ainsi, la réactance de champ homopolaire du transformateur-réacteur est égale à celle d'un réacteur en parallèle de même puissance maximale.

5-1-6 Possibilités d'application du compensateur statique:

La conception et les caractéristiques techniques des compensateurs statiques réglables sont telles qu'elles ouvrent les champs d'application suivants:

-Compensation de puissance réactive réglable dans les systèmes de transport triphasés (pour la diminution de surtensions et pour l'amélioration de la stabilité).

-Compensation de la puissance réactive dans les postes de transport en courant continu sous HT.

-Régulation de tension en liaison avec génératrices supraconductrices.

5-2 Compensateur synchrone:

5-2-1 Généralités:

Le compensateur synchrone compense entièrement ou en partie la composante réactive du courant. Il est raccordé au réseau sans lui en fournir de la puissance active. Il fournit ou absorbe de la puissance réactive selon son état surexcité ou sous-excité. De plus, grâce à l'inertie de ses masses en rotation, il est capable d'intervenir, rapidement, lors de brusques variations de charge ou de courtes interruptions et de rétablir la stabilité du réseau. Il peut contribuer au maintien de la tension dans les réseaux de faible puissance.

5-2-2 Dimensionnement et exemple de compensateur synchrone:

Compte tenu de sa fonction, on dimensionne le compensateur synchrone selon le genre de puissance réactive convenable. La machine est exploitée en régime de sous-excitation lorsque le courant réactif provoqué par l'admittance transversale des lignes est supérieur à la composante réactive inductive du courant absorbé par le consommateur.

Caractéristiques principales d'un exemple de compensateur synchrone de 160Mvar 2

Puissance réactive nominale en régime surexcité	160 Mvar
Puissance réactive nominale en régime sous-excité	90 Mvar
Tension nominale	13 000 V \pm 7,5%
Fréquence	50 Hz
Vitesse nominale	750 tr/min
Survitesse	940 tr/min
Vitesse critique	1120 tr/min
pp^2	450 tm^2
Réactance synchrone, en régime non saturé	1,5 p.u.
Réactance transitoire, en régime saturé	0,4 p.u.
Echauffement maximal par rapport à l'air de refroidissement:	
-Enroulement statorique	85°C
-Enroulement rotorique	90°C
Niveau de bruit maximal à 8 mètres du groupe	67 dB
Résistance à la pression de la carcasse du stator	10 bar
Caractéristiques mécaniques:	
Longueur totale	9,5 m
Largeur maximale	4,9 m
Hauteur maximale	4,9 m
Poids total sans auxiliaire	350 t
Poids total avec auxiliaire	400 t
Poids maximal à transporter	140 t
Pertes totales à pleine charge	1650 Kw

-2-3 Démarrage:

On fait le démarrage du compensateur synchrone comme celui du moteur synchrone.

Les méthodes les plus appropriées sont les suivantes:

- Démarrage en asynchrone.
- Démarrage par moteur de lancement.
- Démarrage par convertisseur de fréquence.

-2-3-1 Démarrage en asynchrone:

Le démarrage en asynchrone est actuellement la méthode principale de lancement des moteurs synchrones. Lors du démarrage l'enroulement d'excitation doit être fermé sur une résistance dont la valeur est d'environ dix fois plus grande que

la résistance de l'enroulement d'excitation. En démarrant en asynchrone, le stator est branché sur le réseau alternatif, il y a apparition d'un couple moteur. Le moteur tourne alors à une vitesse voisine de celle du synchronisme et avec un glissement. Si maintenant on injecte du courant continu dans l'enroulement d'excitation, la présence de pôles de polarité invariable provoque de fortes oscillations périodiques de la vitesse du rotor par rapport à sa vitesse moyenne et le moteur peut atteindre à certains instants la vitesse de synchronisme. Plus la charge du moteur est petite, plus petit est son glissement par rapport à la vitesse du synchronisme et plus facilement il atteint cette dernière.

5-2-3-2 Démarrage par moteur de lancement:

Le compensateur synchrone peut être branché sur le réseau à l'aide des dispositifs de synchronisation par les mêmes méthodes qu'un alternateur synchrone. Pour cela la machine doit avoir sur le même arbre un moteur de démarrage spécial qui peut la faire tourner à la vitesse de synchronisme. On utilise comme moteur auxiliaire un moteur asynchrone qui fait tourner la machine synchrone à une vitesse presque égale à celle du synchronisme et ensuite la machine est branchée par la méthode d'autosynchronisation sur le réseau.

5-2-3-3 Démarrage par convertisseur de fréquence:

Un moteur synchrone peut être mis en marche par variation de fréquence lorsque la fréquence de la tension appliquée lors du démarrage varie progressivement de zéro jusqu'à sa valeur nominale. Le moteur tourne alors au synchronisme pendant toute la période du lancement. On peut utiliser comme convertisseur un alternateur dont la vitesse est variée par un moteur primaire depuis la valeur nulle jusqu'à la valeur nominale.

5-2-4 Perspective:

Le compensateur synchrone se caractérise par sa grande aptitude au réglage. En outre, il est capable de supporter un taux d'harmoniques accru si l'on prend des mesures constructives propres à eux. Il exerce par son énergie cinétique une action stabilisatrice en cas de fortes variations de la charge. A l'avenir grâce à ces propriétés, il s'assurera, à côté des compensateurs statiques (condensateurs inductances), une place de choix parmi les compensateurs de puissance réactive.

5-3 Bobines de réactance et condensateurs:

5-3-1 Condensateurs:

Les condensateurs commencent à être répandus et on pourrait constituer des

batteries de plusieurs milliers de KVA destinées à jouer le même rôle que les compensateurs synchrones. C'est à dire compenser totalement ou en partie la chute de tension le long du réseau de transport. Toutefois les condensateurs sont surtout utilisés pour améliorer le facteur de puissance des charges et ils sont alors branchés, soit aux bornes mêmes des appareils d'utilisation, soit sur les barres des postes de distribution à MT (5 à 15 Kv). La seconde disposition des condensateurs est souvent préférable à la première, car elle permet la concentration en un même point de batteries plus importantes que les batteries individuelles d'appareils d'utilisation, donc plus économiques et dont éventuellement on peut faire varier le nombre d'éléments branchés en parallèles qui les composent, de façon à satisfaire aux besoins du réglage de la tension.

5-3-2 Bobines de réactance:

Les bobines de réactance sont employées dans certains cas pour absorber la puissance réactive fournie aux heures de faible charge par les longues lignes à très haute tension ou par des réseaux de câbles importants. Les bobines de réactance servant au réglage de la tension permettent aussi, en général, de mettre sous tension une longue ligne ou un câble à vide sans provoquer une absorption importante de puissance réactive par la machine génératrice.

Les bobines de réactance peuvent être associées à des compensateurs synchrones lorsque les besoins d'un réseau en absorption de puissance réactive aux heures de faible charge sont du même ordre de grandeur que les besoins en production de puissance réactive au moment des fortes charges. Or la puissance réactive Q_s absorbée par un compensateur synchrone de construction normale étant sensiblement égale à $0,6 Q_c$, Q_c étant la puissance réactive fournie par le compensateur en marche surexcitée, cette machine seule est insuffisante. On peut alors lui adjoindre une ou plusieurs bobines de réactance capables d'absorber une puissance réactive égale à $0,4 Q_c$; l'ensemble de ces bobines et du compensateur satisfait aux conditions requises.

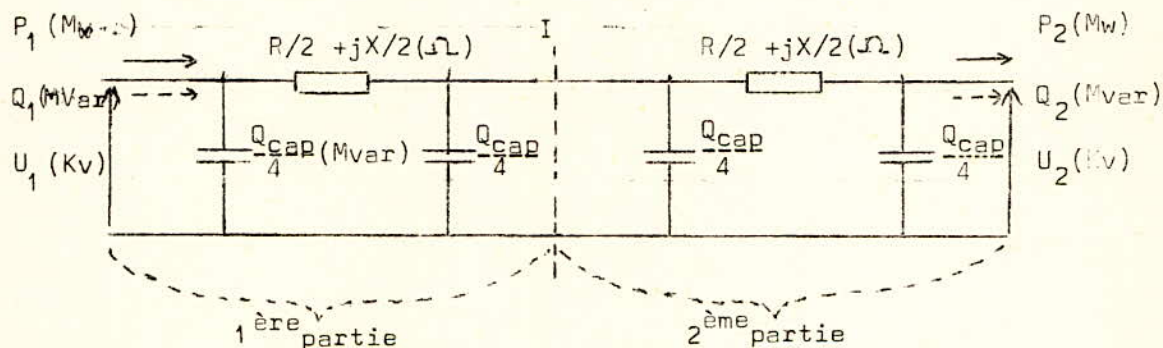
VI SITUATION PRESENTE DU RESEAU ALGERIEN (1976):

6-1 Régime maximum de 19 h, bilan des puissances au niveau des jeux de barres:

Considérations et notations:

Nous allons faire un calcul en considérant le schéma équivalent en double π afin d'avoir une précision appréciable. Nous choisissons un point de départ (ou consigne) qui fournit la plus grande puissance donc le poste du Ravin-Blanc $U_{RB} = 165$ Kv. Le calcul des puissances réactives Q_{cap} de chaque tronçon de ligne est fait avec une tension nominale $U_n = 155$ Kv. L'indice (1) est réservé pour la première partie du schéma équivalent en double π , et l'indice (2) pour la deuxième partie. Nous désignons par Δu la chute de tension et par ΔP et ΔQ les pertes de puissance active et réactive en ligne, l'indice (1) ou (2) indiquent la partie du schéma équivalent en double π auxquelles elles se rapportent.

Schéma équivalent en double π : (I est le point médian du schéma équivalent)

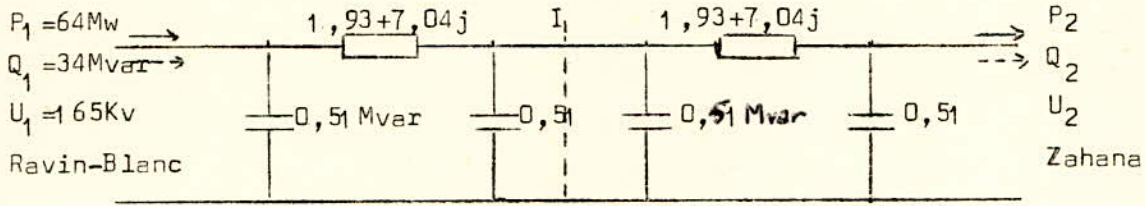


Paramètres des lignes 150 Kv du réseau Algérien:

LIGNES	NATURE	LONG. (Km)	R (Ω)	X (Ω)	$B \cdot 10^{-6}$ (Ω^{-1})	Q_{cap} (Mvar)	
						(155Kv)	(220Kv)
Ghazaouet-Tlemcen	AA 288	54,25	6,73	24,52	146,82	3,53	7,11
Tlemcen-Zahana	AA 288	113,31	14,05	51,20	306,66	7,37	14,85
Zahana-Ravin Blanc	AA 288	31,14	3,86	14,07	84,29	2,03	4,09
Zahana-Réлизane	Cu 116	92,39	14,94	40,51	230,33	5,75	11,58
Réлизane-Arba		267	39,42	110,92	785,96	18,88	38,04
Arba-Darguinah (1)	AA 288	223,57	27,72	101,03	605,06	14,54	29,29
Arba-Darguinah (2)	AA 288	211,18	26,19	95,43	571,52	13,73	27,08
Mansouriah-Dargu.(1)	AA 288	23,51	2,92	10,63	63,64	1,53	3,08
Mansouriah-Dargu.(2)	AA 288	23,33	2,89	10,54	63,14	1,52	3,08
Khroubs-Darguinah(1)	AA 288	156,66	19,43	70,79	423,98	10,19	20,58
Khroubs-Darguinah(2)	AA 288	157,87	19,58	71,34	427,25	10,26	20,57
Khroubs-Skikda	AA 288	74,88	9,29	33,84	202,65	4,87	9,81
Skikda-El-Hadjar	AA 288	88,32	10,95	39,90	239,03	5,74	11,58
Khroubs-Elaouinet	AA 288	119,34	14,80	52,18	335,52	8,05	16,24
El-Hadjar-Khroubs	AA 288	126,60	15,70	57,21	342,62	8,23	16,58

Tronçon Ravin-Blanc-Zahana:

$$P = (Q + C, 51) \cdot (54) + (34 + 0, 51) = 53, 37 \text{ Mw}$$



$$\Delta P_1 = \frac{P_1^2 + (Q_1 + 0, 51)^2}{U_1^2} R = \frac{(64)^2 + (34 + 0, 51)^2}{(165)^2} \cdot 1, 93 = 0, 37 \text{ Mw}; P_I = P_1 - \Delta P_1 = 64 - 0, 37 = 63, 63 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = " " " X = " " " " 7, 04 = 1, 35 \text{ Mvar}; Q_I = Q_1 - \Delta Q_1 + 1, 02 = 33, 67 \text{ Mvar}$$

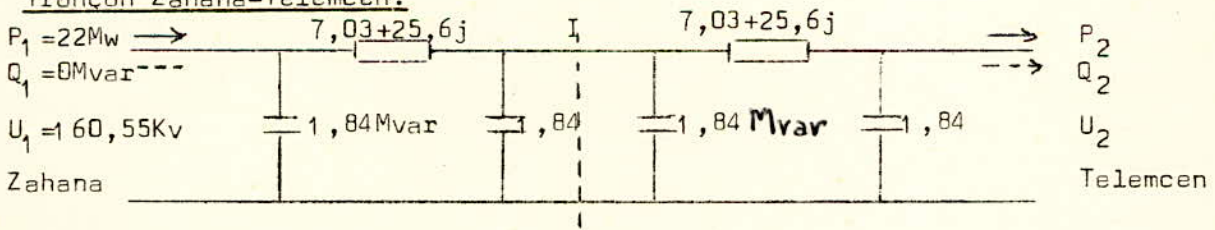
$$\Delta U_1 = \frac{P_I R + (Q_I + 0, 51) X}{U_1} = \frac{63, 63 \cdot 1, 93 + 34, 18 \cdot 7, 04}{165} = 2, 22 \text{ Kv}; U_I = U_1 - \Delta U_1 = 165 - 2, 22 = 162, 78 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_2 = \frac{P_I^2 + (Q_I + 0, 51)^2}{U_I^2} R = \frac{(63, 63)^2 + (34, 18)^2}{(162, 78)^2} \cdot 1, 93 = 0, 38 \text{ Mw}; P_2 = P_I - \Delta P_2 = 63, 63 - 0, 38 = 63, 25 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = " " " X = " " " " 7, 04 = 1, 39 \text{ Mvar}; Q_2 = Q_I - \Delta Q_2 + 1, 02 = 33, 3 \text{ Mvar}$$

$$\Delta U_2 = \frac{P_I R + (Q_I + 0, 51) X}{U_I} = \frac{63, 63 \cdot 1, 93 + 34, 18 \cdot 7, 04}{162, 78} = 2, 23 \text{ Kv}; U_2 = U_I - \Delta U_2 = 162, 78 - 2, 23 = 160, 55 \text{ Kv}$$

Tronçon Zahana-Telemcen:



$$\Delta P_1 = \frac{P_1^2 + (Q_1 + 1, 84)^2}{U_1^2} R = \frac{(22)^2 + (1, 84)^2}{(160, 55)^2} \cdot 7, 03 = 0, 13 \text{ Mw}; P_I = P_1 - \Delta P_1 = 22 - 0, 13 = 21, 87 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = " " " X = " " " " 25, 6 = 0, 48 \text{ Mvar}; Q_I = Q_1 - \Delta Q_1 + 3, 68 = -0, 48 + 3, 68 = 3, 2 \text{ Mvar}$$

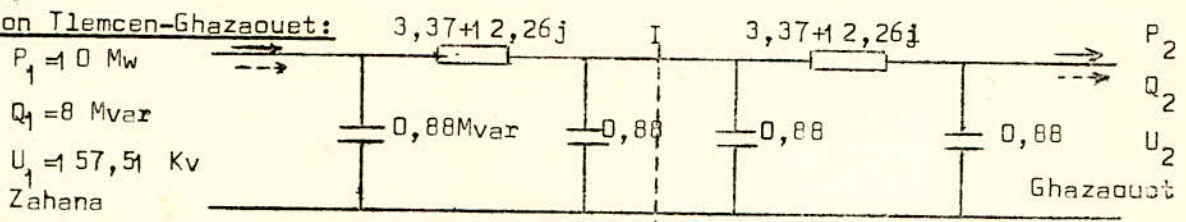
$$\Delta U_1 = \frac{P_I R + (Q_I + 1, 84) X}{U_1} = \frac{21, 87 \cdot 7, 03 + 3, 2 \cdot 25, 6}{160, 55} = 1, 26 \text{ Kv}; U_I = U_1 - \Delta U_1 = 160, 55 - 1, 26 = 159, 29 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_2 = \frac{P_I^2 + (Q_I + 1, 84)^2}{U_I^2} R = \frac{(21, 87)^2 + (3, 2)^2}{(159, 29)^2} \cdot 7, 03 = 0, 14 \text{ Mw}; P_2 = P_I - \Delta P_2 = 21, 87 - 0, 14 = 21, 73 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = " " " X = " " " " 25, 6 = 0, 51 \text{ Mvar}; Q_2 = Q_I - \Delta Q_2 + 3, 68 = 6, 37 \text{ Mvar}$$

$$\Delta U_2 = \frac{P_I R + (Q_I + 1, 84) X}{U_I} = \frac{21, 87 \cdot 7, 03 + 3, 2 \cdot 25, 6}{159, 29} = 1, 78 \text{ Kv}; U_2 = U_I - \Delta U_2 = 159, 29 - 1, 78 = 157, 51 \text{ Kv}$$

Troçon Tlemcen-Ghazaouet:



$$\Delta P_1 = \frac{P_1^2 + (Q_1 + 0,88)^2}{U_1^2} R = \frac{100 + (8,88)^2}{(157,51)^2} \cdot 3,37 = 0,02 \text{ Mw} ; P_I = P_1 - \Delta P_1 = 10 - 0,02 = 9,98 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = " " X = " " 12,26 = 0,09 \text{ Mvar} ; Q_I = Q_1 + 0,88 - \Delta Q_1 + 0,88 = 9,67 \text{ Mvar}$$

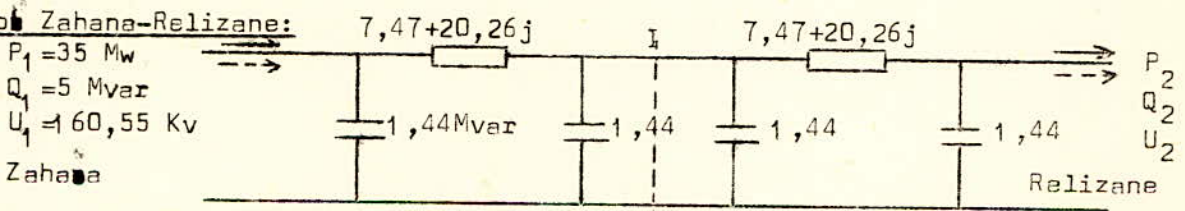
$$\Delta U_1 = \frac{P_I R + (Q_I + 0,88) X}{U_1} = \frac{9,98 \cdot 3,37 + (9,67 + 0,88) \cdot 12,26}{157,51} = 0,91 \text{ Kv} ; U_I = U_1 - \Delta U_1 = 157,51 - 0,91 = 156,6 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_2 = \frac{P_I^2 + (Q_I + 0,88)^2}{U_I^2} R = \frac{(9,98)^2 + (9,67 + 0,88)^2}{(156,6)^2} \cdot 3,37 = 0,03 \text{ Mw} ; P_2 = P_I - \Delta P_2 = 9,98 - 0,03 = 9,95 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = " " X = " " 12,26 = 0,11 \text{ Mvar} ; Q_2 = Q_I + 0,88 - \Delta Q_2 + 0,88 = 11,32 \text{ Mvar}$$

$$\Delta U_2 = \frac{P_I R + (Q_I + 0,88) X}{U_I} = \frac{9,98 \cdot 3,37 + (9,67 + 0,88) \cdot 12,26}{156,6} = 1,04 \text{ Kv} ; U_2 = U_I - \Delta U_2 = 156,6 - 1,04 = 155,56 \text{ Kv}$$

Troçon Zahana-Relizane:



$$\Delta P_1 = \frac{P_1^2 + (Q_1 + 1,44)^2}{U_1^2} R = \frac{(35)^2 + (6,44)^2}{(160,55)^2} \cdot 7,47 = 0,37 \text{ Mw} ; P_I = P_1 - \Delta P_1 = 35 - 0,37 = 34,63 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = " " X = " " 20,26 = 1 \text{ Mvar} ; Q_I = Q_1 + 1,44 - \Delta Q_1 + 1,44 = 6,88 \text{ Mvar}$$

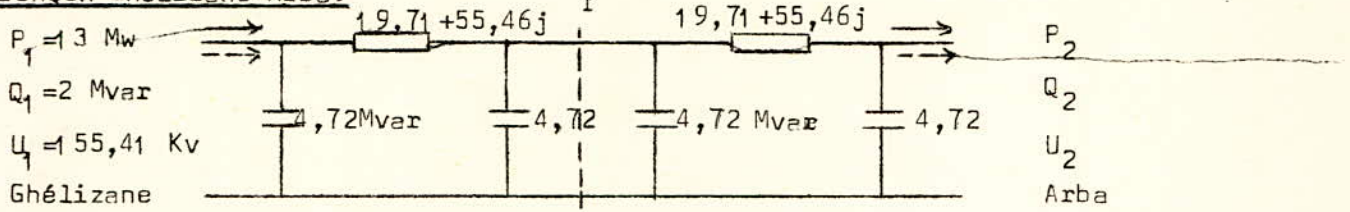
$$\Delta U_1 = \frac{P_I R + (Q_I + 1,44) X}{U_1} = \frac{34,63 \cdot 7,47 + 6,88 \cdot 20,26}{160,55} = 2,44 \text{ Kv} ; U_I = U_1 - \Delta U_1 = 160,55 - 2,44 = 158,11 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_2 = \frac{P_I^2 + (Q_I + 1,44)^2}{U_I^2} R = \frac{(34,63)^2 + (8,32)^2}{(158,11)^2} \cdot 7,47 = 0,38 \text{ Mw} ; P_2 = P_I - \Delta P_2 = 34,63 - 0,38 = 34,25 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = " " X = " " 20,26 = 1,03 \text{ Mvar} ; Q_2 = Q_I + 1,44 - \Delta Q_2 + 1,44 = 8,73 \text{ Mvar}$$

$$\Delta U_2 = \frac{P_I R + (Q_I + 1,44) X}{U_I} = \frac{34,63 \cdot 7,47 + 8,32 \cdot 20,26}{158,11} = 2,70 \text{ Kv} ; U_2 = U_I - \Delta U_2 = 158,11 - 2,70 = 155,41 \text{ Kv}$$

Tronçon Ghélizane-Arba:



$$\Delta P_1 = \frac{P_1^2 + (Q_1 + 4,72)^2}{U_1^2} R = \frac{(13)^2 + (6,72)^2}{(155,41)^2} \cdot 19,71 = 0,17 \text{ Mw} ; P_I = P_1 - \Delta P_1 = 13 - 0,17 = 12,83 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \text{ " " " " } X = \text{ " " " " } 55,46 = 0,49 \text{ Mvar} ; Q_I = Q_1 + 9,44 - \Delta Q_1 = 11,44 - 0,49 = 10,95 \text{ Mvar}$$

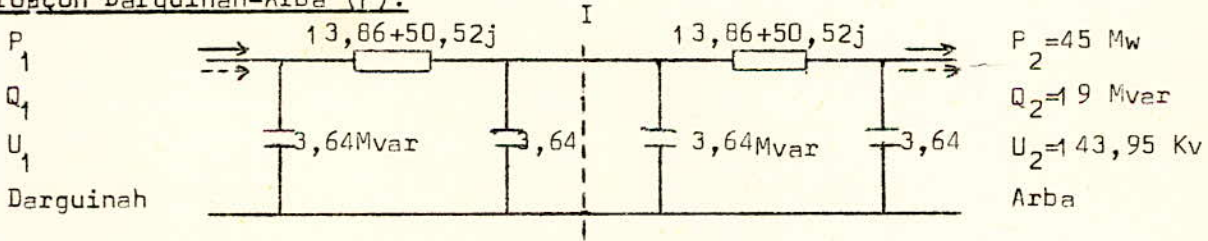
$$\Delta u_1 = \frac{P_1 R + (Q_1 + 4,72) X}{U_1} = \frac{13 \cdot 19,71 + 6,72 \cdot 55,46}{155,41} = 4,05 \text{ Kv} ; U_I = U_1 - \Delta u_1 = 155,41 - 4,05 = 151,36 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_2 = \frac{P_I^2 + (Q_I + 4,72)^2}{U_I^2} R = \frac{(12,83)^2 + (15,67)^2}{(151,36)^2} \cdot 19,71 = 0,35 \text{ Mw} ; P_2 = P_I - \Delta P_2 = 12,83 - 0,35 = 12,48 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = \text{ " " " " } X = \text{ " " " " } 55,46 = 0,99 \text{ Mvar} ; Q_2 = Q_I + 9,44 - \Delta Q_2 = 19,40 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_2 = \frac{P_I R + (Q_I + 4,72) X}{U_I} = \frac{12,83 \cdot 19,71 + 15,67 \cdot 55,46}{151,36} = 7,41 \text{ Kv} ; U_2 = U_I - \Delta u_2 = 151,36 - 7,41 = 143,95 \text{ Kv}$$

Tronçon Darquinah-Arba (1):



$$\Delta P_2 = \frac{P_2^2 + (Q_2 - 3,64)^2}{U_2^2} R = \frac{(45)^2 + (19 - 3,64)^2}{(143,95)^2} \cdot 13,86 = 1,51 \text{ Mw} ; P_I = P_2 + \Delta P_2 = 45 + 1,51 = 46,51 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = \text{ " " " " } X = \text{ " " " " } 50,52 = 5,51 \text{ Mvar} ; Q_I = Q_2 + \Delta Q_2 - 7,28 = 17,23 \text{ Mvar}$$

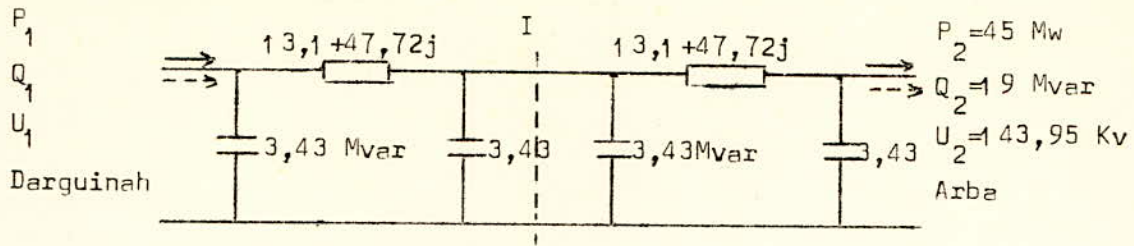
$$\Delta u_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 3,64) X}{U_2} = \frac{45 \cdot 13,86 + 15,36 \cdot 50,52}{143,95} = 9,72 \text{ Kv} ; U_I = U_2 + \Delta u_2 = 143,95 + 9,72 = 153,67 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_1 = \frac{P_I^2 + (Q_I - 3,64)^2}{U_I^2} R = \frac{(46,51)^2 + (13,59)^2}{(153,67)^2} \cdot 13,86 = 1,37 \text{ Mw} ; P_1 = P_I + \Delta P_1 = 46,51 + 1,37 = 47,88 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \text{ " " " " } X = \text{ " " " " } 50,52 = 5 \text{ Mvar} ; Q_1 = Q_I - 3,64 + \Delta Q_1 - 3,64 = 14,95 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 3,64) X}{U_I} = \frac{46,51 \cdot 13,86 + 13,59 \cdot 50,52}{153,67} = 8,66 \text{ Kv} ; U_1 = U_I + \Delta u_1 = 153,67 + 8,66 = 162,33 \text{ Kv}$$

Tronçon Darquinh-Arba (2):



$$\Delta P_2 = \frac{P_2^2 + (Q_2 - 3,43)^2}{U_2^2} R = \frac{(45)^2 + (15,57)^2}{(143,95)^2} \cdot 13,1 = 1,43 \text{ Mw} ; P_I = P_2 + \Delta P_2 = 45 + 1,43 = 46,43 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = " " " " X = " " " " 47,72 = 5,22 \text{ Mvar} ; Q_I = Q_2 + \Delta Q_2 = 19 + 5,22 = 24,22 \text{ Mvar}$$

$$\Delta U_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 3,43) X}{U_2} = \frac{45 \cdot 13,1 + 15,57 \cdot 47,72}{143,95} = 9,26 \text{ Kv} ; U_I = U_2 + \Delta U_2 = 143,95 + 9,26 = 153,21 \text{ Kv}$$

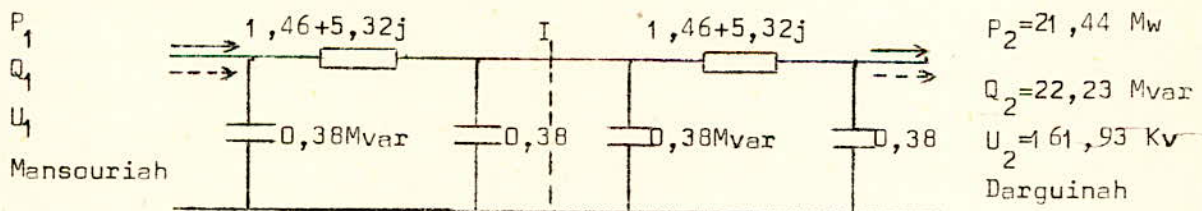
$$\Delta P_1 = \frac{P_I^2 + (Q_I - 3,43)^2}{U_I^2} R = \frac{(46,43)^2 + (13,93)^2}{(153,21)^2} \cdot 13,1 = 1,31 \text{ Mw} ; P_1 = P_I + \Delta P_1 = 46,43 + 1,31 = 47,74 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = " " " " X = " " " " 47,72 = 4,78 \text{ Mvar} ; Q_1 = Q_I + \Delta Q_1 = 24,22 + 4,78 = 29,00 \text{ Mvar}$$

$$\Delta U_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 3,43) X}{U_I} = \frac{46,43 \cdot 13,1 + 13,93 \cdot 47,72}{153,21} = 8,31 \text{ Kv} ; U_1 = U_I + \Delta U_1 = 153,21 + 8,31 = 161,52 \text{ Kv}$$

$$U_{\text{Darguinah}} = \frac{U_1 + U_2}{2} = \frac{161,52 + 143,95}{2} = 152,74 \text{ Kv}$$

Tronçon Mansouriah-Darquinh (1):



$$\Delta P_2 = \frac{P_2^2 + (Q_2 - 0,38)^2}{U_2^2} R = \frac{(21,44)^2 + (21,85)^2}{(161,93)^2} \cdot 1,46 = 0,05 \text{ Mw} ; P_I = P_2 + \Delta P_2 = 21,44 + 0,05 = 21,49 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = " " " " X = " " " " 5,32 = 0,19 \text{ Mvar} ; Q_I = Q_2 + \Delta Q_2 = 22,23 + 0,19 = 22,42 \text{ Mvar}$$

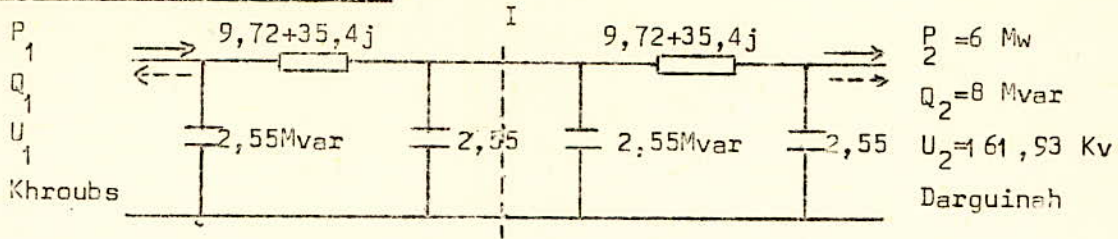
$$\Delta U_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 0,38) X}{U_2} = \frac{21,44 \cdot 1,46 + 21,85 \cdot 5,32}{161,93} = 0,91 \text{ Kv} ; U_I = U_2 + \Delta U_2 = 161,93 + 0,91 = 162,84 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_1 = \frac{P_I^2 + (Q_I - 0,38)^2}{U_I^2} R = \frac{(21,49)^2 + (21,28)^2}{(162,84)^2} \cdot 1,46 = 0,05 \text{ Mw} ; P_1 = P_I + \Delta P_1 = 21,49 + 0,05 = 21,54 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = " " " " X = " " " " 5,32 = 0,18 \text{ Mvar} ; Q_1 = Q_I + \Delta Q_1 = 22,42 + 0,18 = 22,60 \text{ Mvar}$$

$$\Delta U_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 0,38) X}{U_I} = \frac{21,49 \cdot 1,46 + 21,28 \cdot 5,32}{162,84} = 0,89 \text{ Kv} ; U_1 = U_I + \Delta U_1 = 162,84 + 0,89 = 163,73 \text{ Kv}$$

Troncon Khroubs-Darquinah (1):



$$\Delta P_2 = \frac{P_2^2 + (Q_2 - 2,55)^2}{U_2^2} R = \frac{(6)^2 + (5,45)^2}{(161,93)^2} \cdot 9,72 = 0,02 \text{ Mw}; P_I = P_2 + \Delta P_2 = 6 + 0,02 = 6,02 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = \frac{P_2(Q_2 - 2,55) + 6 \cdot 9,72 + 5,45 \cdot 35,4}{U_2^2} = 0,09 \text{ Mvar}; Q_I = Q_2 + \Delta Q_2 - 5,1 = 8 + 0,09 - 5,1 = 2,99 \text{ Mvar}$$

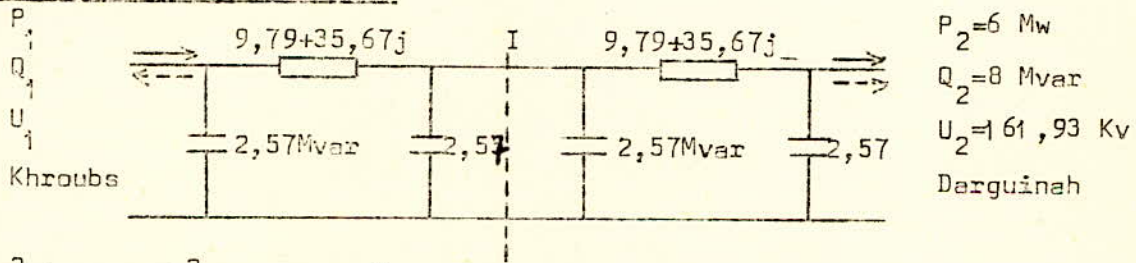
$$\Delta u_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 2,55) X}{U_2} = \frac{6 \cdot 9,72 + 5,45 \cdot 35,4}{161,93} = 1,55 \text{ Kv}; U_I = U_2 + \Delta u_2 = 161,93 + 1,55 = 163,48 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_1 = \frac{P_I^2 + (Q_I - 2,55)^2}{U_I^2} R = \frac{(6,02)^2 + (0,44)^2}{(163,48)^2} \cdot 9,72 = 0,01 \text{ Mw}; P_1 = P_I + \Delta P_1 = 6,02 + 0,01 = 6,03 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \frac{P_I(Q_I - 2,55) + 6,02 \cdot 9,72 + 0,44 \cdot 35,4}{U_I^2} = 0,05 \text{ Mvar}; Q_1 = Q_I + \Delta Q_1 - 5,1 = -2,06 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 2,55) X}{U_I} = \frac{6,02 \cdot 9,72 + 0,44 \cdot 35,4}{163,48} = 0,45 \text{ Kv}; U_1 = U_I + \Delta u_1 = 163,48 + 0,45 = 163,93 \text{ Kv}$$

Troncon Khroubs-Darquinah (2):



$$\Delta P_2 = \frac{P_2^2 + (Q_2 - 2,57)^2}{U_2^2} R = \frac{36 + (5,43)^2}{(161,93)^2} \cdot 9,79 = 0,02 \text{ Mw}; P_I = P_2 + \Delta P_2 = 6 + 0,02 = 6,02 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = \frac{P_2(Q_2 - 2,57) + 6 \cdot 9,79 + 5,43 \cdot 35,67}{U_2^2} = 0,09 \text{ Mvar}; Q_I = Q_2 + \Delta Q_2 - 5,14 = 8 + 0,09 - 5,14 = 2,95 \text{ Mvar}$$

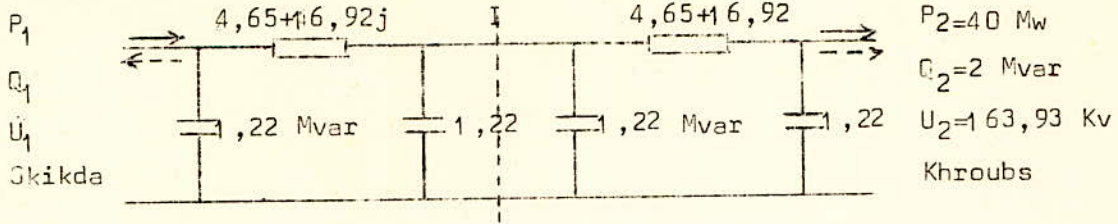
$$\Delta u_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 2,57) X}{U_2} = \frac{6 \cdot 9,79 + 5,43 \cdot 35,67}{161,93} = 1,56 \text{ Kv}; U_I = U_2 + \Delta u_2 = 161,93 + 1,56 = 163,49 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_1 = \frac{P_I^2 + (Q_I - 2,57)^2}{U_I^2} R = \frac{(6,02)^2 + (0,38)^2}{(163,49)^2} \cdot 9,79 = 0,01 \text{ Mw}; P_1 = P_I + \Delta P_1 = 6,02 + 0,01 = 6,03 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \frac{P_I(Q_I - 2,57) + 6,02 \cdot 9,79 + 0,38 \cdot 35,67}{U_I^2} = 0,05 \text{ Mvar}; Q_1 = Q_I + \Delta Q_1 - 5,14 = -2,14 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 2,57) X}{U_I} = \frac{6,02 \cdot 9,79 + 0,38 \cdot 35,67}{163,49} = 0,44 \text{ Kv}; U_1 = U_I + \Delta u_1 = 163,49 + 0,44 = 163,93 \text{ Kv}$$

Tronçon Skikda-Khroubs:



$$\Delta P_2 = \frac{P_2^2 + (Q_2 - 1,22)^2}{U_2^2} R = \frac{(40)^2 + (0,78)^2}{(163,93)^2} \cdot 4,65 = 0,28 \text{ Mw} ; P_I = P_2 + \Delta P_2 = 40 + 0,28 = 40,28 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = " " " X = " " " 16,92 = 1,01 \text{ Mvar} ; Q_I = Q_2 + \Delta Q_2 = 2,44 = 2 + 1,01 = 3,45 \text{ Mvar}$$

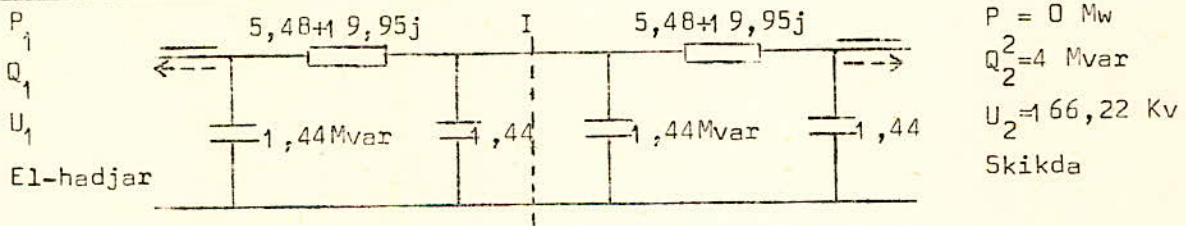
$$\Delta U_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 1,22) X}{U_2} = \frac{40 \cdot 4,65 + 0,78 \cdot 16,92}{163,93} = 1,22 \text{ Kv} ; U_I = U_2 + \Delta U_2 = 163,93 + 1,22 = 165,15 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_1 = \frac{P_I^2 + (Q_I - 1,22)^2}{U_I^2} R = \frac{(40,28)^2 + (-0,65)^2}{(165,15)^2} \cdot 4,65 = 0,28 \text{ Mw} ; P_1 = P_I + \Delta P_1 = 40,28 + 0,28 = 40,56 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = " " " X = " " " 16,92 = 1,01 \text{ Mvar} ; Q_1 = Q_I + \Delta Q_1 = 2,44 = -0,86 \text{ Mvar}$$

$$\Delta U_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 1,22) X}{U_I} = \frac{40,28 \cdot 4,65 + (-0,65) \cdot 16,92}{165,15} = 1,07 \text{ Kv} ; U_1 = U_I + \Delta U_1 = 165,15 + 1,07 = 166,22 \text{ Kv}$$

Tronçon El-hadjjar-Skikda:



$$\Delta P_2 = \frac{P_2^2 + (Q_2 - 1,44)^2}{U_2^2} R = \frac{0 + (2,56)^2}{(166,22)^2} \cdot 5,48 = 0,001 \approx 0 \text{ Mw} ; P_I = P_2 + \Delta P_2 = 0 + 0 = 0 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = " " " X = " " " 19,95 = 0,005 \approx 0 \text{ Mvar} ; Q_I = Q_2 + \Delta Q_2 = 2,88 = 4 + 0 = 4 \text{ Mvar}$$

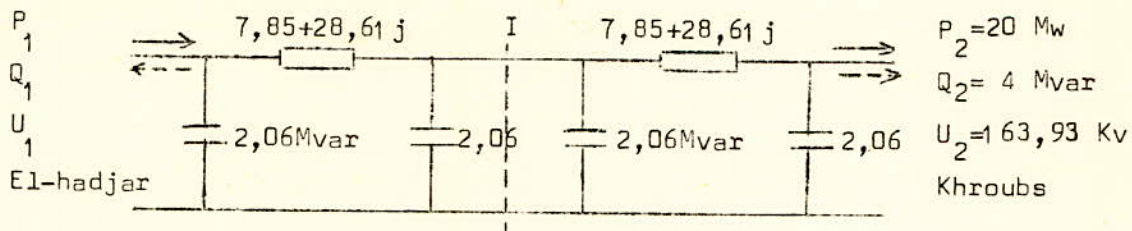
$$\Delta U_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 1,44) X}{U_2} = \frac{0 \cdot 5,48 + 2,56 \cdot 19,95}{166,22} = 0,31 \text{ Kv} ; U_I = U_2 + \Delta U_2 = 166,22 + 0,31 = 166,53 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_1 = \frac{P_I^2 + (Q_I - 1,44)^2}{U_I^2} R = \frac{0 + (-0,32)^2}{(166,22)^2} \cdot 5,48 = 0,003 \approx 0 \text{ Mw} ; P_1 = P_I + \Delta P_1 = 0 + 0 = 0 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = " " " X = " " " 19,95 = 0,31 \text{ Mvar} ; Q_1 = Q_I + \Delta Q_1 = 2,88 = 1,75 \text{ Mvar}$$

$$\Delta U_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 1,44) X}{U_I} = \frac{0 \cdot 5,48 + (-0,32) \cdot 19,95}{166,53} = -0,04 \text{ Kv} ; U_1 = U_I + \Delta U_1 = 166,53 - 0,04 = 166,49 \text{ Kv}$$

Troçon El-Hadjar-Khroubs:



$$\Delta P_2 = \frac{P_2^2 + (Q_2 - 2,06)^2}{U_2^2} R = \frac{(20)^2 + (1,94)^2}{(163,93)^2} \cdot 7,85 = 0,12 \text{ Mw} ; P_I = P_2 + \Delta P_2 = 20 + 0,12 = 20,12 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = " " X = " " 28,61 = 0,43 \text{ Mvar} ; Q_I = Q_2 + \Delta Q_2 = 4 + 0,43 = 4,43 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 2,06) X}{U_2} = \frac{20 \cdot 7,85 + 1,94 \cdot 28,61}{163,93} = 1,30 \text{ Kv} ; U_I = U_2 + \Delta u_2 = 163,93 + 1,30 = 165,23 \text{ Kv}$$

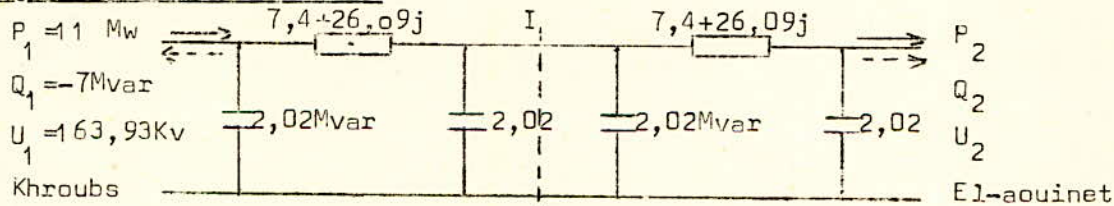
$$\Delta P_1 = \frac{P_I^2 + (Q_I - 2,06)^2}{U_I^2} R = \frac{(20,12)^2 + (-1,75)^2}{(165,23)^2} \cdot 7,85 = 0,12 \text{ Mw} ; P_1 = P_I + \Delta P_1 = 20,12 + 0,12 = 20,24 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = " " X = " " 28,61 = 0,43 \text{ Mvar} ; Q_1 = Q_I + \Delta Q_1 = 4,43 + 0,43 = 4,86 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 2,06) X}{U_I} = \frac{20,12 \cdot 7,85 + (-1,75) \cdot 28,61}{165,23} = 0,65 \text{ Kv} ; U_1 = U_I + \Delta u_1 = 165,23 + 0,65 = 165,88 \text{ Kv}$$

$$U_{\text{El-Hadjar}} = \frac{U(1) + U(2)}{2} = \frac{166,49 + 165,88}{2} = 166,19 \text{ Kv}$$

Troçon Khroubs-El-Aouinet:



$$\Delta P_1 = \frac{P_1^2 + (Q_1 + 2,02)^2}{U_1^2} R = \frac{(11)^2 + (-4,98)^2}{(163,93)^2} \cdot 7,4 = 0,04 \text{ Mw} ; P_I = P_1 - \Delta P_1 = 11 - 0,04 = 10,96 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = " " X = " " 26,09 = 0,14 \text{ Mvar} ; Q_I = Q_1 - \Delta Q_1 = -7 - 0,14 = -7,14 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_1 = \frac{P_1 R + (Q_1 + 2,02) X}{U_1} = \frac{11 \cdot 7,4 + (-4,98) \cdot 26,09}{163,93} = 0,3 \text{ Kv} ; U_I = U_1 - \Delta u_1 = 163,93 - 0,3 = 163,63 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_2 = \frac{P_I^2 + (Q_I + 2,02)^2}{U_I^2} R = \frac{(10,96)^2 + (-1,08)^2}{(163,63)^2} \cdot 7,4 = 0,03 \text{ Mw} ; P_2 = P_I - \Delta P_2 = 10,96 - 0,03 = 10,93 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = " " X = " " 26,09 = 0,12 \text{ Mvar} ; Q_2 = Q_I - \Delta Q_2 = -7,14 - 0,12 = -7,26 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_2 = \frac{P_I R + (Q_I + 2,02) X}{U_I} = \frac{10,96 \cdot 7,4 + (-1,08) \cdot 26,09}{163,63} = 0,32 \text{ Kv} ; U_2 = U_I - \Delta u_2 = 163,63 - 0,32 = 163,31 \text{ Kv}$$

Régime maximum de 19h. Bilan des puissances au niveau des jeux de barres:

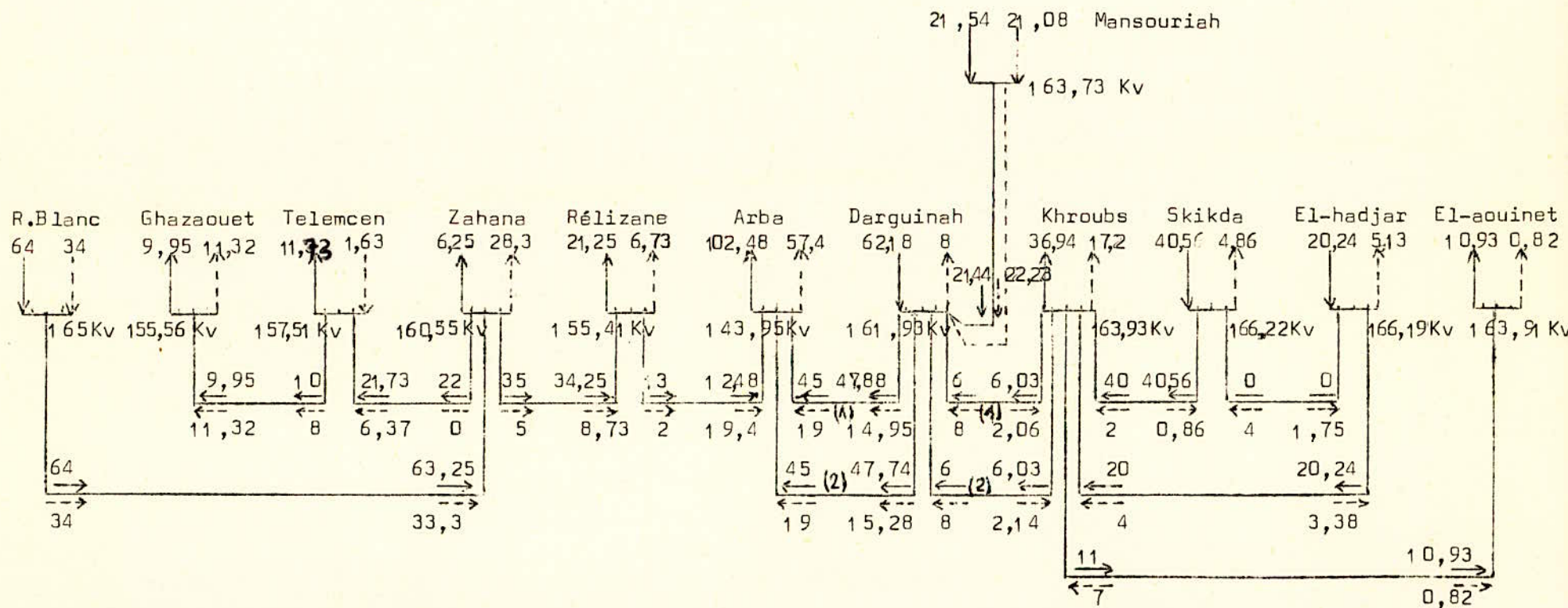
Le point de départ (Ravin-Blanc) est connu du point de vue tension, puissances active et réactive, grâce à des mesures effectuées par le service de SONELGAZ.

Les flèches en traits plains indiquent la puissance active en Mw.

Les flèches en traits pointillés indiquent la puissance réactive en Mvar.

La ligne représentée en pointillés est en panne.

Le calcul des pertes est fait avec une erreur de ± 10 Kw, celui des tensions et chutes de tensions est fait à ± 10 v.

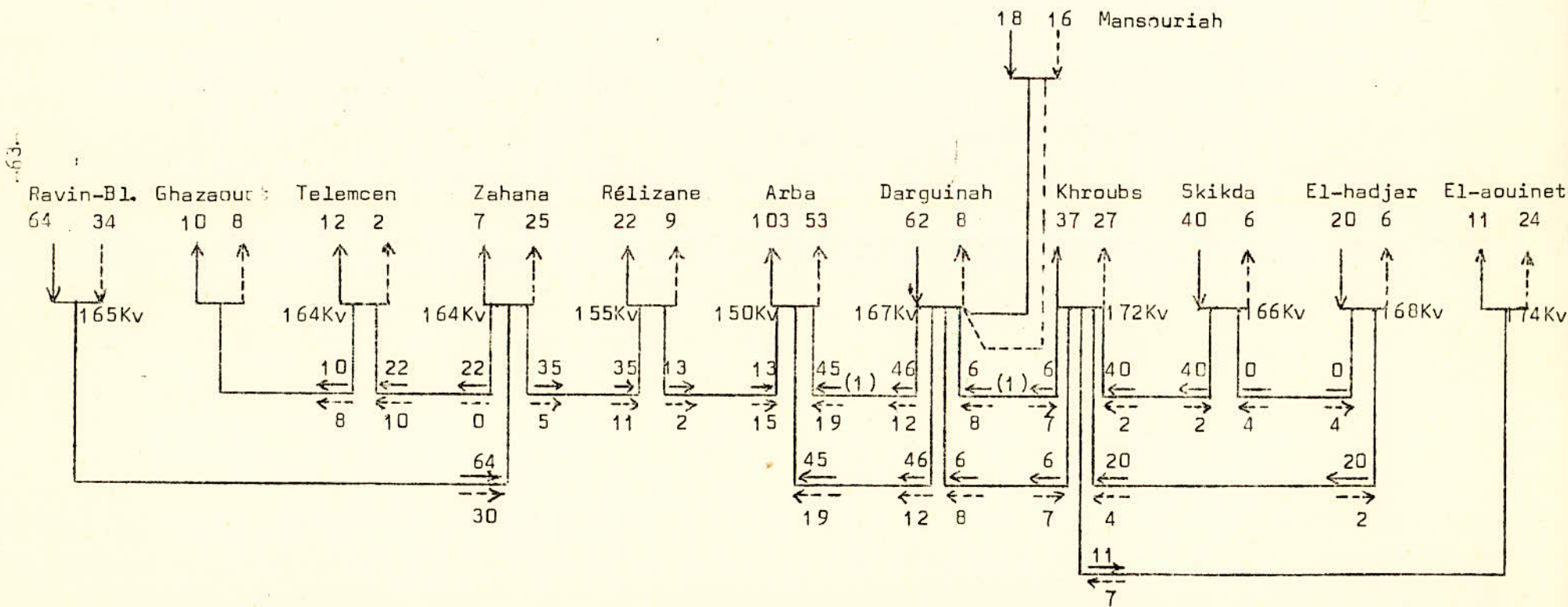


Régime maximum de 19h, bilan des puissances au niveau des jeux de barres fait par le service de mesure de SONELGAZ. Les flèches en traits plains indiquent la puissance active en Mw.

Les flèches en traits pointillés indiquent la puissance réactive en Mvar.

En conclusion on peut dire que les puissances fournies ou absorbées au niveau de chaque poste, obtenues par calcul sont du même ordre de grandeur que celles relevées par le service de mesure de SONELGAZ.

La ligne El-hadjar-Skikda ne transporte aucune puissance active, nous pouvons la mettre hors-circuit, ce qui diminuera le transit de puissance réactive.



6-2 Régime minimum de 2H00; Bilan des puissances au niveau des jeux de barres considérations:

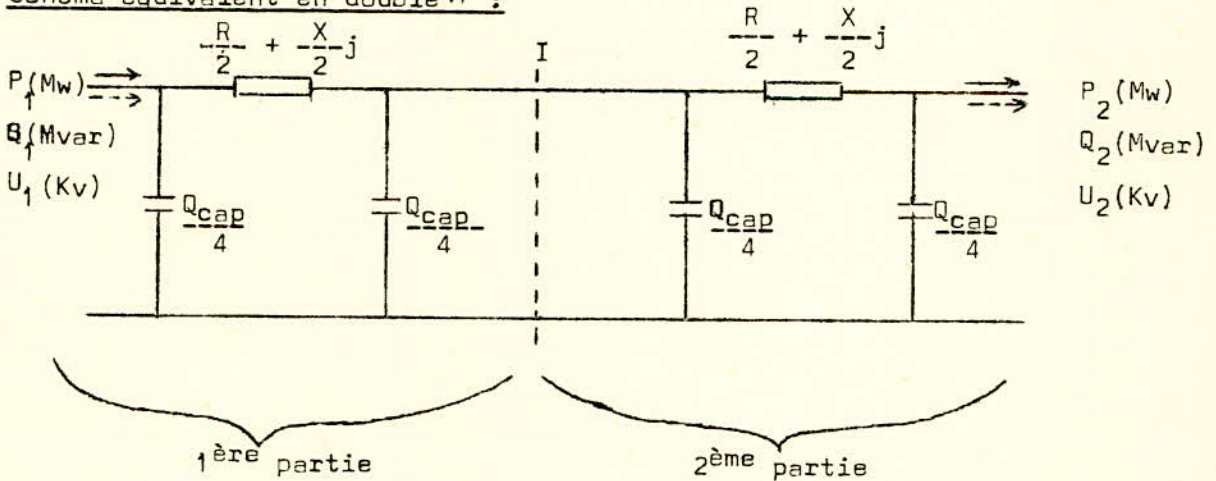
Nous ferons la même considération ici aussi en choisissant un schéma équivalent en double π , afin d'avoir une précision appréciable.

nous choisissons un point de départ(ou consigne) qui est le plus grand consommateur d'énergie électrique. Donc le poste de l'Arba avec $U_{Arba} = 155 \text{ Kv}$.

Les puissances réactives Q_{cap} produites par chaque tronçon sont les mêmes que pour le régime maximum de 19h. Car la tension nominale est toujours 155 Kv.

L'indice(1) est réservé pour la première partie du schéma équivalent en double π et l'indice (2) pour la deuxième partie. Nous désignons par Δu la chute de tension et par ΔP et ΔQ les pertes de puissance active et réactive, l'indice (1) ou (2) indiquent la partie du schéma équivalent auxquelles elles se raportes. Au régime minimum la puissance aux jeux de barres est de 25% de celle du régime maximum. On mettra hors circuit les lignes doubles moins chargées et qui produisent le plus d'Energie réactive, afin de diminuer l'Energie réactive à compenser.

Schéma équivalent en double π :

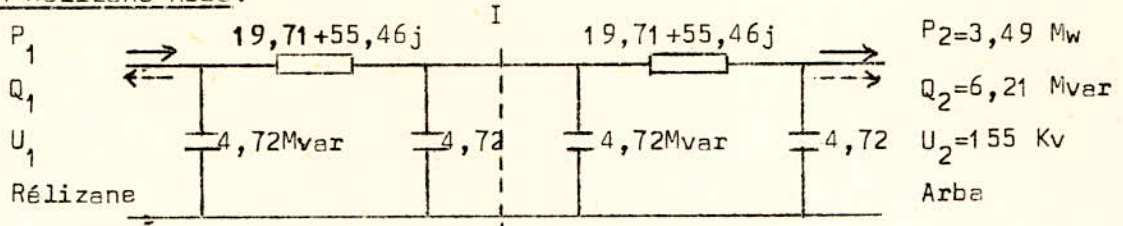


Les flèches en traits plains indiquent la puissance active.

Les flèches en traits pointillés indiquent la puissance réactive.

Nous considérons le sens gauche-droite de la puissance est positif.

Tronçon Relizane-Arba:



$$\Delta P_2 = \frac{P_2^2 + (Q_2 - 4,72)^2}{U_2^2} R = \frac{(3,49)^2 + (6,21 - 4,72)^2}{(155)^2} - 19,71 = 0,01 \text{ Mw} ; P_I = P_2 + \Delta P_2 = 3,49 + 0,01 = 3,50 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 4,72) X}{U_2} = \frac{(3,49)19,71 + (6,21 - 4,72)55,46}{155} = 0,03 \text{ Mvar} ; Q_I = Q_2 + \Delta Q_2 = 6,21 + 0,03 = 6,24 \text{ Mvar}$$

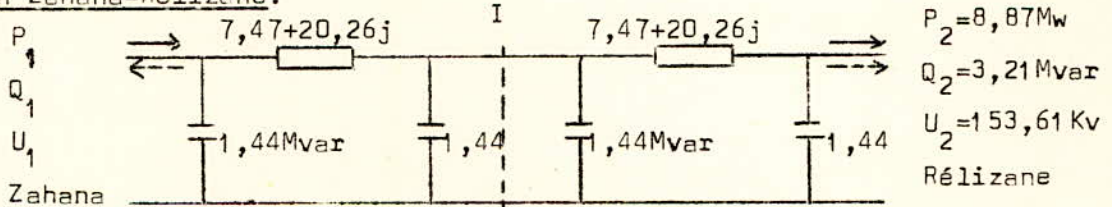
$$\Delta u_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 4,72) X}{U_2} = \frac{(3,49)19,71 + (6,21 - 4,72)55,46}{155} = 0,98 \text{ Kv} ; U_I = U_2 + \Delta u_2 = 155 + 0,98 = 155,98 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_1 = \frac{P_I^2 + (Q_I - 4,72)^2}{U_I^2} R = \frac{(3,5)^2 + (6,24 - 4,72)^2}{(155,98)^2} - 19,71 = 0,06 \text{ Mw} ; P_1 = P_I + \Delta P_1 = 3,5 + 0,06 = 3,56 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 4,72) X}{U_I} = \frac{(3,5)19,71 + (6,24 - 4,72)55,46}{155,98} = 0,17 \text{ Mvar} ; Q_1 = Q_I + \Delta Q_1 = 6,24 + 0,17 = 6,41 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 4,72) X}{U_I} = \frac{(3,5)19,71 + (6,24 - 4,72)55,46}{155,98} = 2,37 \text{ Kv} ; U_1 = U_I + \Delta u_1 = 155,98 + 2,37 = 158,35 \text{ Kv}$$

Tronçon Zahana-Relizane:



$$\Delta P_2 = \frac{P_2^2 + (Q_2 - 1,44)^2}{U_2^2} R = \frac{(8,87)^2 + (3,21 - 1,44)^2}{(153,61)^2} - 7,47 = 0,03 \text{ Mw} ; P_I = P_2 + \Delta P_2 = 8,87 + 0,03 = 8,90 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 1,44) X}{U_2} = \frac{(8,87)7,47 + (3,21 - 1,44)20,26}{153,61} = 0,07 \text{ Mvar} ; Q_I = Q_2 + \Delta Q_2 = 3,21 + 0,07 = 3,28 \text{ Mvar}$$

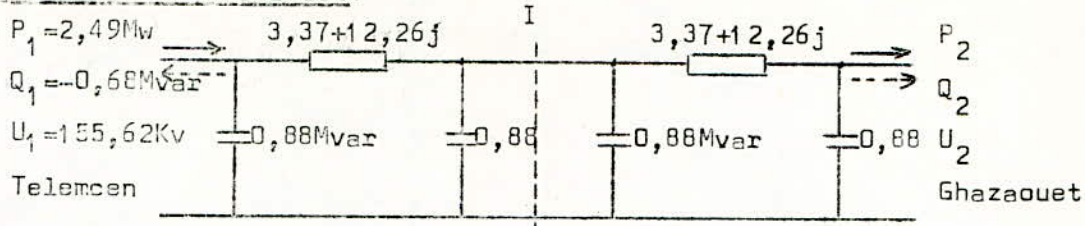
$$\Delta u_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 1,44) X}{U_2} = \frac{(8,87)7,47 + (3,21 - 1,44)20,26}{153,61} = 0,66 \text{ Kv} ; U_I = U_2 + \Delta u_2 = 153,61 + 0,66 = 154,27 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_1 = \frac{P_I^2 + (Q_I - 1,44)^2}{U_I^2} R = \frac{(8,9)^2 + (3,28 - 1,44)^2}{(154,27)^2} - 7,47 = 0,03 \text{ Mw} ; P_1 = P_I + \Delta P_1 = 8,9 + 0,03 = 8,93 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 1,44) X}{U_I} = \frac{(8,9)7,47 + (3,28 - 1,44)20,26}{154,27} = 0,07 \text{ Mvar} ; Q_1 = Q_I + \Delta Q_1 = 3,28 + 0,07 = 3,35 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 1,44) X}{U_I} = \frac{(8,9)7,47 + (3,28 - 1,44)20,26}{154,27} = 0,29 \text{ Kv} ; U_1 = U_I + \Delta u_1 = 154,27 + 0,29 = 154,56 \text{ Kv}$$

Tronçon Telemcen-Ghazaouet:



$$\Delta P_1 = \frac{P_1^2 + (Q_1 + 0,88)^2}{U_1^2} - R = \frac{(2,49)^2 + (-0,68 + 0,88)^2}{(155,62)^2} - 3,37 = 0,001 \approx 0; P_I = P_1 - \Delta P_1 = 2,49 - 0 = 2,49 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = " " " " X = " " " " " " " 12,26 = 0,003 \approx 0; Q_I = Q_1 - \Delta Q_1 + 1,76 = 1,08 \text{ Mvar}$$

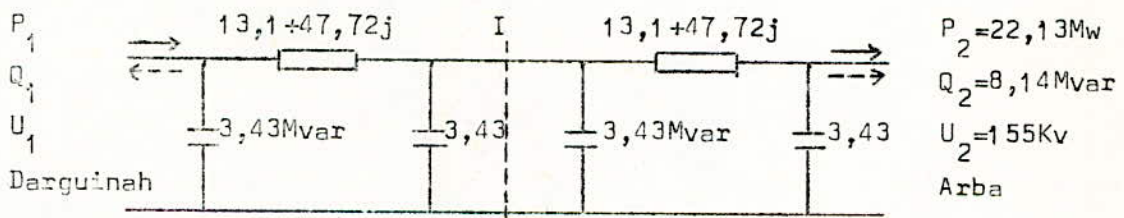
$$\Delta u_1 = \frac{P_1 R + (Q_1 + 0,88) X}{U_1} = \frac{2,49 \cdot 3,37 + (-0,68 + 0,88) \cdot 12,26}{155,62} = 0,07 \text{ Kv}; U_I = U_1 - \Delta u_1 = 155,62 - 0,07 = 155,55 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_2 = \frac{P_I^2 + (Q_I + 0,88)^2}{U_I^2} - R = \frac{(2,49)^2 + (1,08 + 0,88)^2}{(155,55)^2} - 3,37 = 0,001 \approx 0 \text{ Mw}; P_2 = P_I - \Delta P_2 = 2,49 - 0 = 2,49 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = " " " " X = " " " " " " " 12,26 = 0,01 \text{ Mvar}; Q_2 = Q_I - \Delta Q_2 + 1,76 = 2,83 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_2 = \frac{P_I R + (Q_I + 0,88) X}{U_I} = \frac{2,49 \cdot 3,37 + (1,08 + 0,88) \cdot 12,26}{155,55} = 0,21 \text{ Kv}; U_2 = U_I - \Delta u_2 = 155,55 - 0,21 = 155,34 \text{ Kv}$$

Tronçon Darguinah-Arba (2):



$$\Delta P_2 = \frac{P_2^2 + (Q_2 - 3,43)^2}{U_2^2} - R = \frac{(22,13)^2 + (8,14 - 3,43)^2}{(155)^2} - 13,1 = 0,28 \text{ Mw}; P_I = P_2 + \Delta P_2 = 22,13 + 0,28 = 22,41 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = " " " " X = " " " " " " " 47,72 = 1,02 \text{ Mvar}; Q_I = Q_2 + \Delta Q_2 - 6,86 = 2,3 \text{ Mvar}$$

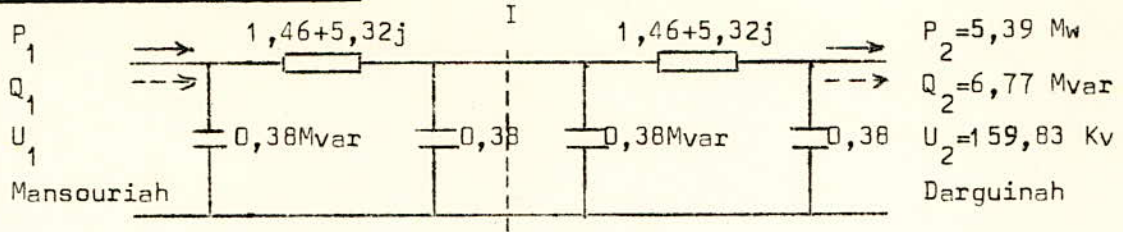
$$\Delta u_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 3,43) X}{U_2} = \frac{22,13 \cdot 13,1 + (8,14 - 3,43) \cdot 47,72}{155} = 3,32 \text{ Kv}; U_I = U_2 + \Delta u_2 = 155 + 3,32 = 158,32 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_1 = \frac{P_I^2 + (Q_I - 3,43)^2}{U_I^2} - R = \frac{(22,41)^2 + (2,3 - 3,43)^2}{(158,32)^2} - 13,1 = 0,26 \text{ Mw}; P_1 = P_I + \Delta P_1 = 22,41 + 0,26 = 22,67 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = " " " " X = " " " " " " " 47,72 = 0,96 \text{ Mvar}; Q_1 = Q_I + \Delta Q_1 - 6,86 = -3,6 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 3,43) X}{U_I} = \frac{22,41 \cdot 13,1 + (2,3 - 3,43) \cdot 47,72}{158,32} = 1,51 \text{ Kv}; U_1 = U_I + \Delta u_1 = 158,32 + 1,51 = 159,83 \text{ Kv}$$

Tronçon Mansouriah-Darquinah:



$$\Delta P_2 = \frac{P_2^2 + (Q_2 - 0,38)^2}{U_2^2} R = \frac{(5,39)^2 + (6,77 - 0,38)^2}{(159,83)^2} 1,46 = 0,004 \approx 0 \text{ Mw}; P_I = P_2 + \Delta P_2 = 5,39 + 0 = 5,39 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = \text{ " " " " } X = \text{ " " " " } 5,32 = 0,01 \text{ Mvar}; Q_I = Q_2 + \Delta Q_2 - 0,76 = 6,02 \text{ Mvar}$$

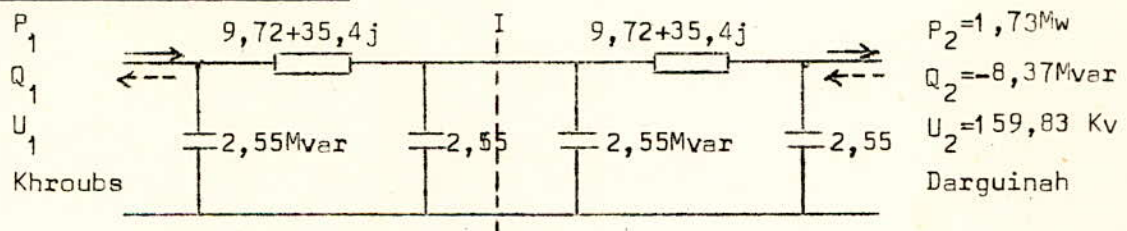
$$\Delta u_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 0,38) X}{U_2} = \frac{5,39 \cdot 1,46 + (6,77 - 0,38) 5,32}{159,83} = 0,26 \text{ Kv}; U_I = U_2 + \Delta u_2 = 159,83 + 0,26 = 160,09 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_1 = \frac{P_I^2 + (Q_I - 0,38)^2}{U_I^2} R = \frac{(5,39)^2 + (6,02 - 0,38)^2}{(160,09)^2} 1,46 = 0,003 \approx 0 \text{ Mw}; P_1 = P_I + \Delta P_1 = 5,39 + 0 = 5,39 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \text{ " " " " } X = \text{ " " " " } 5,32 = 0,01 \text{ Mvar}; Q_1 = Q_I + \Delta Q_1 - 0,76 = 5,27 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 0,38) X}{U_I} = \frac{5,39 \cdot 1,46 + (6,02 - 0,38) 5,32}{160,09} = 0,24 \text{ Kv}; U_1 = U_I + \Delta u_1 = 160,09 + 0,24 = 160,33 \text{ Kv}$$

Tronçon Khroubs-Darquinah(1):



$$\Delta P_2 = \frac{P_2^2 + (Q_2 - 2,55)^2}{U_2^2} R = \frac{(1,73)^2 + (-8,37 - 2,55)^2}{(159,83)^2} 9,72 = 0,05 \text{ Mw}; P_I = P_2 + \Delta P_2 = 1,73 + 0,05 = 1,78 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = \text{ " " " " } X = \text{ " " " " } 35,4 = 0,17 \text{ Mvar}; Q_I = Q_2 + \Delta Q_2 - 5,1 = -13,3 \text{ Mvar}$$

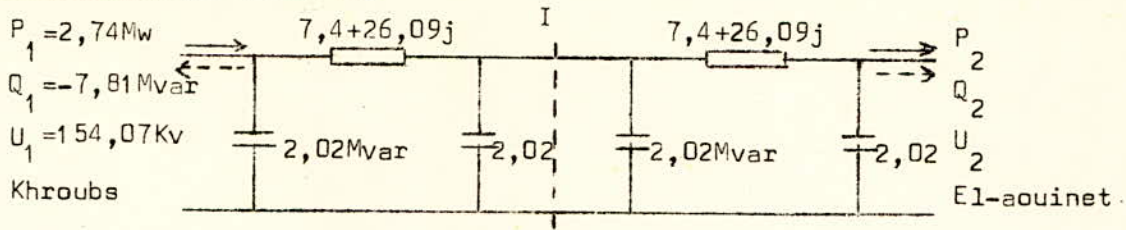
$$\Delta u_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 2,55) X}{U_2} = \frac{1,73 \cdot 9,72 + (-8,37 - 2,55) 35,4}{159,83} = -2,31 \text{ Kv}; U_I = U_2 + \Delta u_2 = 159,83 - 2,31 = 157,52 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_1 = \frac{P_I^2 + (Q_I - 2,55)^2}{U_I^2} R = \frac{(1,78)^2 + (-13,3 - 2,55)^2}{(157,52)^2} 9,72 = 0,1 \text{ Mw}; P_1 = P_I + \Delta P_1 = 1,78 + 0,1 = 1,88 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \text{ " " " " } X = \text{ " " " " } 35,4 = 0,36 \text{ Mvar}; Q_1 = Q_I + \Delta Q_1 - 5,1 = -18,04 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 2,55) X}{U_I} = \frac{1,78 \cdot 9,72 + (-13,3 - 2,55) 35,4}{157,52} = -3,45 \text{ Kv}; U_1 = U_I + \Delta u_1 = 157,52 - 3,45 = 154,07 \text{ Kv}$$

Tronçon Khroubs-El-aouinet:



$$\Delta P_1 = \frac{P_1^2 + (Q_1 + 2,02)^2}{U_1^2} - R = \frac{(2,74)^2 + (-7,81 + 2,02)^2}{(154,07)^2} - 7,4 = 0,01 \text{ Mw} ; P_I = P_1 - \Delta P_1 = 2,74 - 0,01 = 2,73 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \text{ " " " " } X = \text{ " " " " } 26,09 = 0,05 \text{ Mvar} ; Q_I = Q_1 - \Delta Q_1 + 4,04 = -3,82 \text{ Mvar}$$

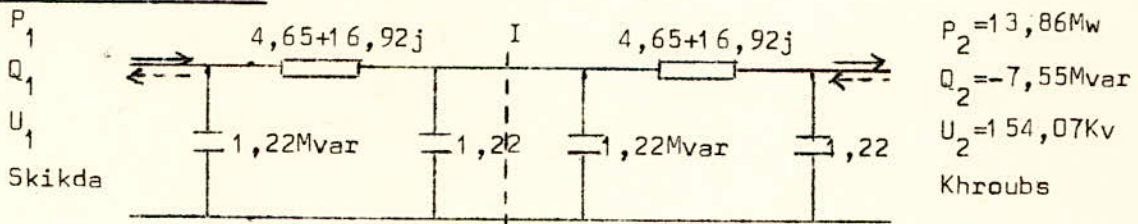
$$\Delta U_1 = \frac{P_I R + (Q_I + 2,02) X}{U_1} = \frac{2,73 \cdot 7,4 + (-3,82 + 2,02) \cdot 26,09}{154,07} = -0,85 \text{ Kv} ; U_I = U_1 - \Delta U_1 = 154,07 + 0,85 = 154,92 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_2 = \frac{P_I^2 + (Q_I + 2,02)^2}{U_I^2} - R = \frac{(2,73)^2 + (-3,82 + 2,02)^2}{(154,92)^2} - 7,4 = 0,003 \approx 0 \text{ Mw} ; P_2 = P_I - \Delta P_2 = 2,73 - 0 = 2,73 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = \text{ " " " " } X = \text{ " " " " } 26,09 = 0,01 \text{ Mvar} ; Q_2 = Q_I - \Delta Q_2 + 4,04 = 0,21 \text{ Mvar}$$

$$\Delta U_2 = \frac{P_I R + (Q_I + 2,02) X}{U_I} = \frac{2,73 \cdot 7,4 + (-3,82 + 2,02) \cdot 26,09}{154,92} = -0,17 \text{ Kv} ; U_2 = U_I - \Delta U_2 = 154,92 + 0,17 = 155,09 \text{ Kv}$$

Tronçon Skikda-Khroubs:



$$\Delta P_2 = \frac{P_2^2 + (Q_2 - 1,22)^2}{U_2^2} - R = \frac{(13,86)^2 + (-7,55 - 1,22)^2}{(154,07)^2} - 4,65 = 0,05 \text{ Mw} ; P_I = P_2 + \Delta P_2 = 13,86 + 0,05 = 13,91 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = \text{ " " " " } X = \text{ " " " " } 16,92 = 0,19 \text{ Mvar} ; Q_I = Q_2 + \Delta Q_2 - 2,44 = -9,8 \text{ Mvar}$$

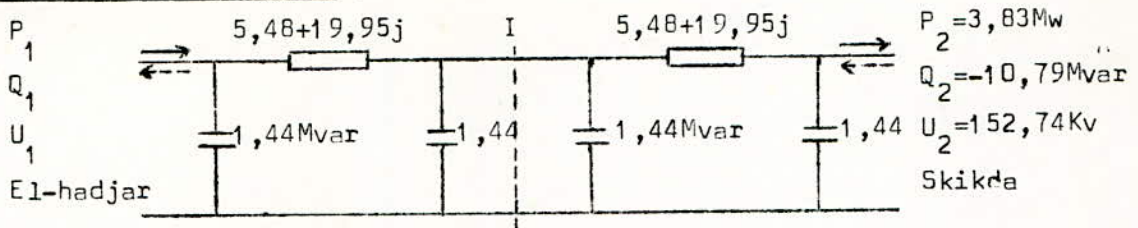
$$\Delta U_2 = \frac{P_I R + (Q_I - 1,22) X}{U_2} = \frac{13,91 \cdot 4,65 + (-9,8 - 1,22) \cdot 16,92}{154,07} = -0,54 \text{ Kv} ; U_I = U_2 + \Delta U_2 = 154,07 - 0,54 = 153,53 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_1 = \frac{P_I^2 + (Q_I - 1,22)^2}{U_I^2} - R = \frac{(13,91)^2 + (-9,8 - 1,22)^2}{(153,53)^2} - 4,65 = 0,06 \text{ Mw} ; P_1 = P_I + \Delta P_1 = 13,91 + 0,06 = 13,97 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \text{ " " " " } X = \text{ " " " " } 16,92 = 0,23 \text{ Mvar} ; Q_1 = Q_I + \Delta Q_1 - 2,44 = -12,01 \text{ Mvar}$$

$$\Delta U_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 1,22) X}{U_I} = \frac{13,91 \cdot 4,65 + (-9,8 - 1,22) \cdot 16,92}{153,53} = -0,79 \text{ Kv} ; U_1 = U_I + \Delta U_1 = 153,53 - 0,79 = 152,74 \text{ Kv}$$

Tronçon El-hadjar - Skikda :



$$\Delta P_2 = \frac{P_2^2 + (Q_2 - 1,44)^2}{U_2^2} R = \frac{(3,83)^2 + (-10,79 - 1,44)^2}{(152,74)^2} \cdot 5,48 = 0,04 \text{ Mw} \quad ; P_I = P_2 + \Delta P_2 = 3,83 + 0,04 = 3,87 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = " " " " X = " " " " " " " " " " 19,95 = 0,14 \text{ Mvar} \quad ; Q_I = Q_2 + \Delta Q_2 = -10,79 - 2,88 = -13,53 \text{ Mvar}$$

$$\Delta U_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 1,44) X}{U_2} = \frac{3,83 \cdot 5,48 + (-10,79 - 1,44) \cdot 19,95}{152,74} = -1,46 \text{ Kv} \quad ; U_I = U_2 + \Delta U_2 = 152,74 - 1,46 = 151,28 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_1 = \frac{P_I^2 + (Q_I - 1,44)^2}{U_{II}^2} R = \frac{(3,87)^2 + (-13,53 - 1,44)^2}{(151,28)^2} \cdot 5,48 = 0,06 \text{ Mw} \quad ; P_1 = P_I + \Delta P_1 = 3,87 + 0,06 = 3,93 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = " " " " X = " " " " " " " " " " 19,95 = 0,21 \text{ Mvar} \quad ; Q_1 = Q_I + \Delta Q_1 = -13,53 - 2,88 = -16,2 \text{ Mvar}$$

$$\Delta U_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 1,44) X}{U_I} = \frac{3,87 \cdot 5,48 + (-13,53 - 1,44) \cdot 19,95}{151,28} = -1,83 \text{ Kv} \quad ; U_1 = U_I + \Delta U_1 = 151,28 - 1,83 = 149,45 \text{ Kv}$$

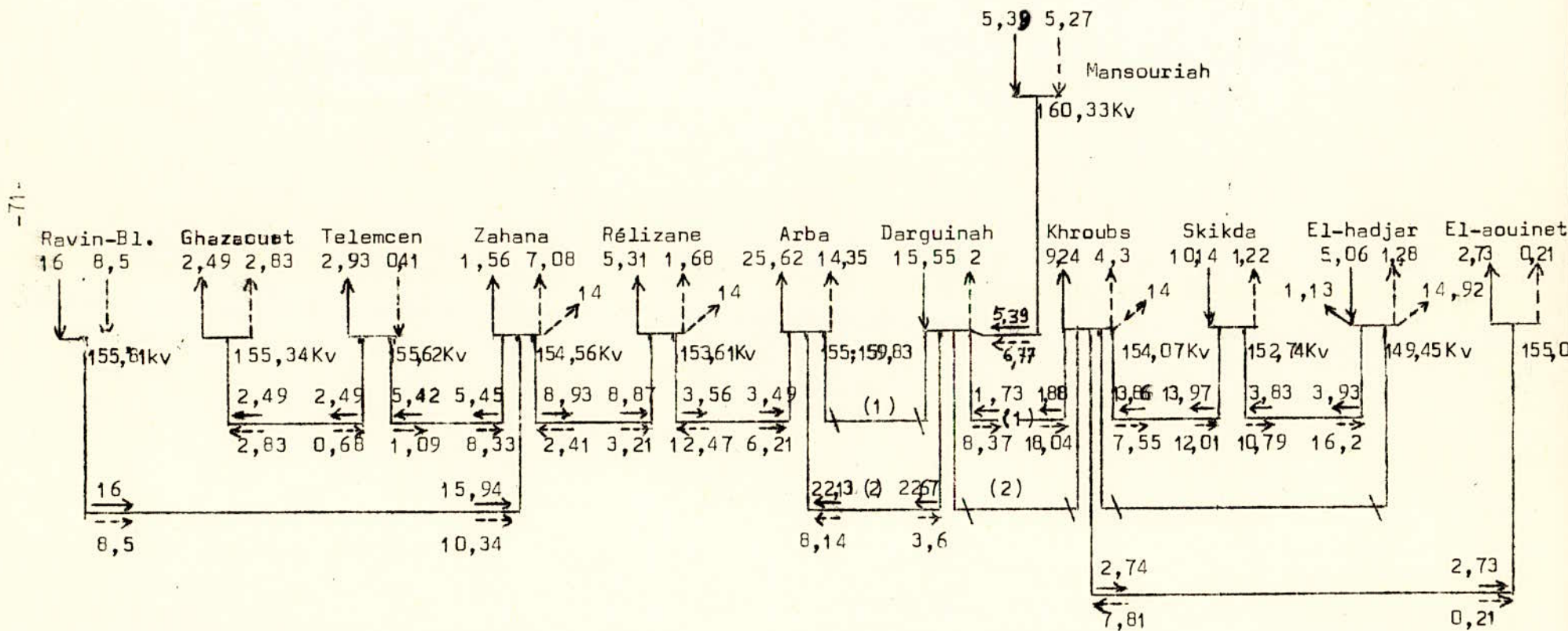
Conclusion :

Nous avons prévues des bobines de réactance pour la compensation de l'énergie réactive. Elles seront installées sur les postes de Zahana, Rélizane, Khroubs, et El-hadjar. Ces bobines sont choisies d'après leur puissance réactive (15Mvar). En général les bobines de réactance sont réglables. Celles des postes de Zahana, Rélizane, Khroubs sont réglées à 14Mvar, celle du poste d'El-hadjar à 14,92Mvar. Le poste d'El-hadjar est considéré ici comme poste chef d'orchestre, c'est à dire un poste capable de fournir une puissance réglable. Dans ce cas il va fournir une puissance active de 5,06 - 1,13 = 3,93Mw. La différence de 1,13Mw provient de la précision du pourcentage 25% que nous avons pris pour définir le régime à vide. Nous avons mis hors service les lignes doubles qui produisent le plus d'énergie réactive et cela pour diminuer la puissance réactive à compenser.

Régime minimum de 2h(1976), bilan des puissances au niveau des jeux de barres :

Ce calcul est fait en prenant comme point de départ le poste de l'Arba.

Les flèches en traits plains indiquent la puissance active en Mw absorbée ou fournie suivant le sens de la flèche
 Les flèches en traits pointillés indiquent la puissance réactive en Mvar absorbée ou fournie suivant le sens de la flèche.
 Les symboles (/) indique que la ligne est mise hors circuit.



VII SITUATION AVENIR DU RESEAU ALGERIEN (1977)

7-1 Régime maximum de 19h, bilan des puissances au niveau des jeux de barres:

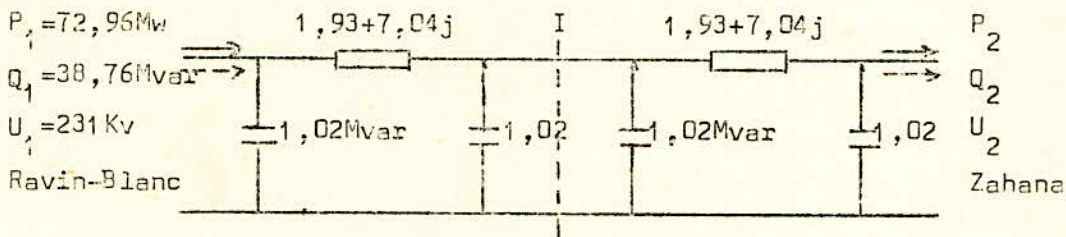
Nous adoptons les mêmes considérations et notations que dans le cas du chapitre VI. Nous partons des puissances actives et réactives P et Q aux jeux de barres du régime maximum de 19h (1976) et nous appliquons une majoration égale au taux d'accroissement de l'énergie par an donné par SONEGAS (14%).

En 1977 la tension du réseau de transport algérien passe de 150Kv à 220Kv, donc les puissances capacitives fournies par les lignes seront différentes et on pourra les calculer, $Q_{cap1} = C\omega U^2 = B(155)^2$ et $Q_{cap2} = B(220)^2 \Rightarrow$

$Q_{cap2} = Q_{cap1} \left(\frac{220}{155}\right)^2$ $Q_{cap2} = Q_{cap1} \cdot 2,01$. Ce calcul est fait à la page 54.

Dans le cas général on admet une chute de tension de 10% de la tension nominale. Nous nous fixons une tension au Ravin-Blanc de 5% de plus de la tension nominale 220Kv; $U_{RB} = 231$ Kv.

Tronçon Ravin-Blanc-Zahana:



$$\Delta P_1 = \frac{P_1^2 + (Q_1 + 1,02)^2}{U_1^2} - R = \frac{(72,96)^2 + (39,78)^2}{(231)^2} - 1,93 = 0,25 \text{ Mw} ; P_I = P_1 - \Delta P_1 = 72,96 - 0,25 = 72,71 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \text{ " " " " } \times = \text{ " " " " } - 7,04 = 0,91 \text{ Mvar} ; Q_I = Q_1 - \Delta Q_1 + 2,04 = 39,89 \text{ Mvar}$$

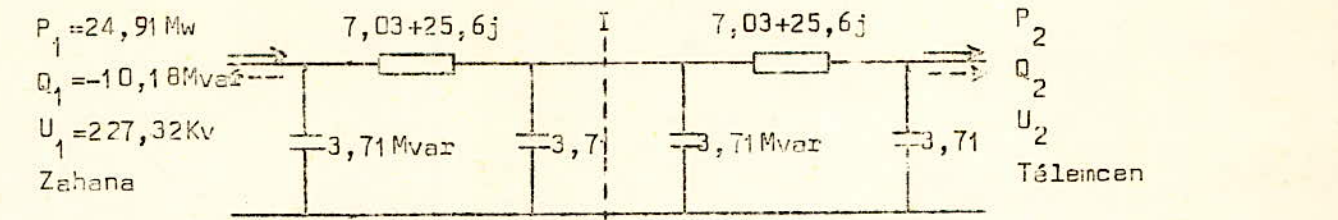
$$\Delta u_1 = \frac{P_I R + (Q_I + 1,02) \times 72,71 + 39,78 \cdot 7,04}{U_1} = \frac{72,71 \cdot 1,93 + 40,91 \cdot 7,04}{231} = 1,82 \text{ Kv} ; U_I = U_1 - \Delta u_1 = 231 - 1,82 = 229,18 \text{ kv}$$

$$\Delta P_2 = \frac{P_I^2 + (Q_I + 1,02)^2}{U_I^2} - R = \frac{(72,71)^2 + (40,91)^2}{(229,18)^2} - 1,93 = 0,26 \text{ Mw} ; P_2 = P_I - \Delta P_2 = 72,71 - 0,26 = 72,45 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = \text{ " " " " } \times = \text{ " " " " } - 7,04 = 0,93 \text{ Mvar} ; Q_2 = Q_I - \Delta Q_2 + 2,04 = 41 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_2 = \frac{P_I R + (Q_I + 1,02) \times 72,71 + 40,91 \cdot 7,04}{U_I} = \frac{72,71 \cdot 1,93 + 40,91 \cdot 7,04}{229,18} = 1,87 \text{ Kv} ; U_2 = U_I - \Delta u_2 = 229,18 - 1,87 = 227,32 \text{ Kv}$$

Tronçon Zahana-Télemcen:



$$\Delta P_1 = \frac{P_1^2 + (Q_1 + 3,71)^2}{U_1^2} R = \frac{(24,91)^2 + (-6,47)^2}{(227,32)^2} \cdot 7,03 = 0,09 \text{ Mw}; P_I = P_1 - \Delta P_1 = 24,91 - 0,09 = 24,82 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \frac{P_1 R + (Q_1 + 3,71) X}{U_1^2} = \frac{24,91 \cdot 7,03 + (-6,47) \cdot 25,6}{227,32^2} = 0,33 \text{ Mvar}; Q_I = Q_1 - \Delta Q_1 + 7,42 = -3,09 \text{ Mvar}$$

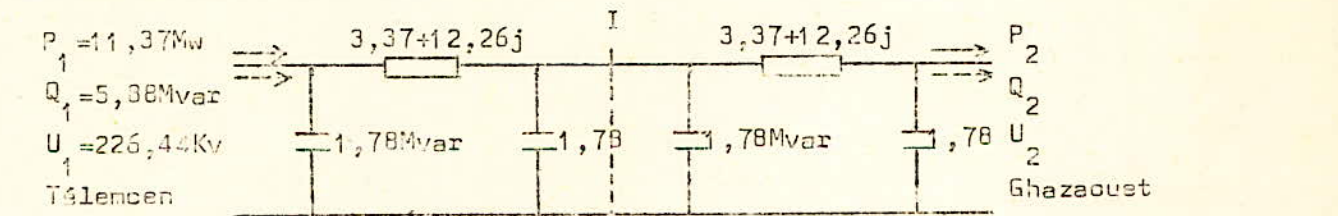
$$\Delta U_1 = \frac{P_I R + (Q_I + 3,71) X}{U_1^2} = \frac{24,82 \cdot 7,03 + (-6,47) \cdot 25,6}{227,32^2} = 0,04 \text{ Kv}; U_I = U_1 - \Delta U_1 = 227,32 - 0,04 = 227,28 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_2 = \frac{P_I^2 + (Q_I + 3,71)^2}{U_I^2} R = \frac{(24,82)^2 + (0,62)^2}{(227,28)^2} \cdot 7,03 = 0,08 \text{ Mw}; P_2 = P_I - \Delta P_2 = 24,82 - 0,08 = 24,74 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = \frac{P_I R + (Q_I + 3,71) X}{U_I^2} = \frac{24,82 \cdot 7,03 + 0,62 \cdot 25,6}{227,28^2} = 0,31 \text{ Mvar}; Q_2 = Q_I - \Delta Q_2 + 7,42 = 4,02 \text{ Mvar}$$

$$\Delta U_2 = \frac{P_I R + (Q_I + 3,71) X}{U_I^2} = \frac{24,82 \cdot 7,03 + 0,62 \cdot 25,6}{227,28^2} = 0,04 \text{ Kv}; U_2 = U_I - \Delta U_2 = 227,28 - 0,04 = 226,44 \text{ Kv}$$

Tronçon Télemcen-Ghazaouet:



$$\Delta P_1 = \frac{P_1^2 + (Q_1 + 1,78)^2}{U_1^2} R = \frac{(11,37)^2 + (7,66)^2}{(226,44)^2} \cdot 3,37 = 0,01 \text{ Mw}; P_I = P_1 - \Delta P_1 = 11,37 - 0,01 = 11,36 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \frac{P_1 R + (Q_1 + 1,78) X}{U_1^2} = \frac{11,37 \cdot 3,37 + 7,66 \cdot 12,26}{226,44^2} = 0,04 \text{ Mvar}; Q_I = Q_1 - \Delta Q_1 + 3,56 = 9,40 \text{ Mvar}$$

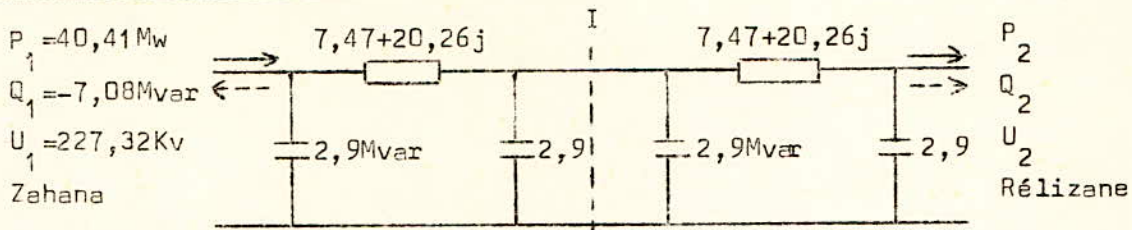
$$\Delta U_1 = \frac{P_I R + (Q_I + 1,78) X}{U_1^2} = \frac{11,36 \cdot 3,37 + 11,18 \cdot 12,26}{226,44^2} = 0,58 \text{ Kv}; U_I = U_1 - \Delta U_1 = 226,44 - 0,58 = 225,86 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_2 = \frac{P_I^2 + (Q_I + 1,78)^2}{U_I^2} R = \frac{(11,37)^2 + (11,18)^2}{(225,86)^2} \cdot 3,37 = 0,02 \text{ Mw}; P_2 = P_I - \Delta P_2 = 11,36 - 0,02 = 11,34 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = \frac{P_I R + (Q_I + 1,78) X}{U_I^2} = \frac{11,36 \cdot 3,37 + 11,18 \cdot 12,26}{225,86^2} = 0,06 \text{ Mvar}; Q_2 = Q_I - \Delta Q_2 + 3,56 = 2,9 \text{ Mvar}$$

$$\Delta U_2 = \frac{P_I R + (Q_I + 1,78) X}{U_I^2} = \frac{11,36 \cdot 3,37 + 11,18 \cdot 12,26}{225,86^2} = 0,78 \text{ Kv}; U_2 = U_I - \Delta U_2 = 225,86 - 0,78 = 225,08 \text{ Kv}$$

Tronçon Zahana-Rélizane:



$$\Delta P_1 = \frac{P_1^2 + (Q_1 + 2,9)^2}{U_1^2} R = \frac{(40,41)^2 + (-4,18)^2}{(227,32)^2} \cdot 7,47 = 0,24 \text{ Mw} ; P_I = P_1 - \Delta P_1 = 40,41 - 0,24 = 40,17 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \text{ " " " " } X = \text{ " " " " } \cdot 20,26 = 0,65 \text{ Mvar} ; Q_I = Q_1 - \Delta Q_1 + 5,8 = -1,93 \text{ Mvar}$$

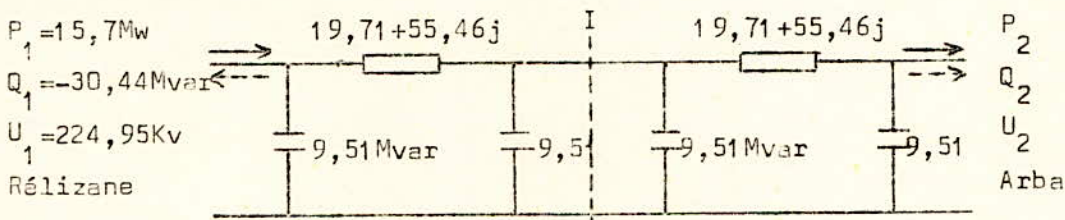
$$\Delta u_1 = \frac{P_1 R + (Q_1 + 2,9) X}{U_1} = \frac{40,41 \cdot 7,47 + (-4,18) \cdot 20,26}{227,32} = 0,96 \text{ Kv} ; U_I = U_1 - \Delta u_1 = 227,32 - 0,96 = 226,36 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_2 = \frac{P_I^2 + (Q_I + 2,9)^2}{U_I^2} R = \frac{(40,17)^2 + (-0,97)^2}{(226,36)^2} \cdot 7,47 = 0,24 \text{ Mw} ; P_2 = P_I - \Delta P_2 = 40,17 - 0,24 = 39,93 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = \text{ " " " " } X = \text{ " " " " } \cdot 20,26 = 0,64 \text{ Mvar} ; Q_2 = Q_I - \Delta Q_2 + 5,8 = -1,93 - 0,64 + 5,8 = 3,23 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_2 = \frac{P_I R + (Q_I + 2,9) X}{U_I} = \frac{40,17 \cdot 7,47 + (-0,97) \cdot 20,26}{226,36} = 1,41 \text{ Kv} ; U_2 = U_I - \Delta u_2 = 226,36 - 1,41 = 224,95 \text{ Kv}$$

Tronçon Rélizane-Arba:



$$\Delta P_1 = \frac{P_1^2 + (Q_1 + 9,51)^2}{U_1^2} R = \frac{(15,7)^2 + (-20,93)^2}{(224,95)^2} \cdot 19,71 = 0,27 \text{ Mw} ; P_I = P_1 - \Delta P_1 = 15,7 - 0,27 = 15,43 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \text{ " " " " } X = \text{ " " " " } \cdot 55,46 = 0,75 \text{ Mvar} ; Q_I = Q_1 - \Delta Q_1 + 19,02 = -12,17 \text{ Mvar}$$

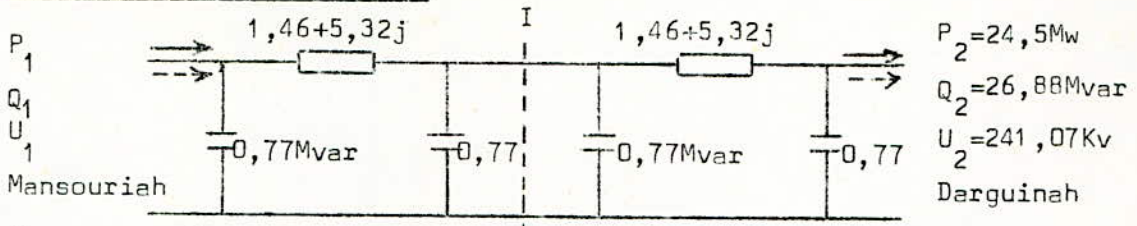
$$\Delta u_1 = \frac{P_1 R + (Q_1 + 9,51) X}{U_1} = \frac{15,7 \cdot 19,71 + (-20,93) \cdot 55,46}{224,95} = 3,78 \text{ Kv} ; U_I = U_1 - \Delta u_1 = 224,95 - 3,78 = 221,17 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_2 = \frac{P_I^2 + (Q_I + 9,51)^2}{U_I^2} R = \frac{(15,43)^2 + (-2,66)^2}{(221,17)^2} \cdot 19,71 = 0,09 \text{ Mw} ; P_2 = P_I - \Delta P_2 = 15,43 - 0,09 = 15,34 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = \text{ " " " " } X = \text{ " " " " } \cdot 55,46 = 0,26 \text{ Mvar} ; Q_2 = Q_I - \Delta Q_2 + 19,02 = 6,59 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_2 = \frac{P_I R + (Q_I + 9,51) X}{U_I} = \frac{15,43 \cdot 19,71 + (-2,66) \cdot 55,46}{221,17} = 0,68 \text{ Kv} ; U_2 = U_I - \Delta u_2 = 221,17 - 0,68 = 220,49 \text{ Kv}$$

Tronçon Mansouriah-Darquinah(1):



$$\Delta P_2 = \frac{P_2^2 + (Q_2 - 0,77)^2}{U_2^2} - R = \frac{(24,5)^2 + (26,88 - 0,77)^2}{(241,07)^2} - 1,46 = 0,03 \text{ Mw} \quad ; P_I = P_2 + \Delta P_2 = 24,5 + 0,03 = 24,53 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 0,77) X}{U_2} = \frac{24,5 \cdot 1,46 + (26,88 - 0,77) \cdot 5,32}{241,07} = 0,12 \text{ Mvar} \quad ; Q_I = Q_2 + \Delta Q_2 = 26,88 + 0,12 = 27,0 \text{ Mvar}$$

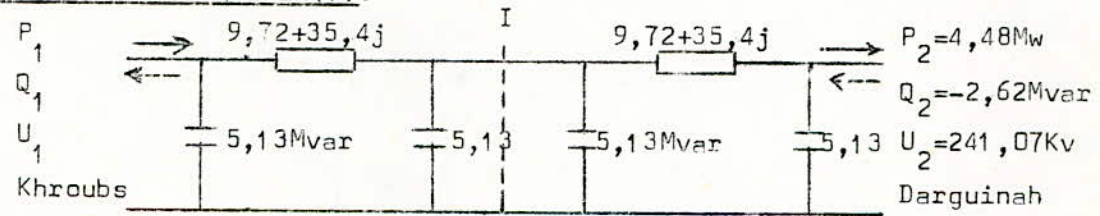
$$\Delta u_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 0,77) X}{U_2} = \frac{24,5 \cdot 1,46 + (26,88 - 0,77) \cdot 5,32}{241,07} = 0,72 \text{ Kv} \quad ; U_I = U_2 + \Delta u_2 = 241,07 + 0,72 = 241,79 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_1 = \frac{P_I^2 + (Q_I - 0,77)^2}{U_I^2} - R = \frac{(24,53)^2 + (27,0 - 0,77)^2}{(241,79)^2} - 1,46 = 0,03 \text{ Mw} \quad ; P_1 = P_I + \Delta P_1 = 24,53 + 0,03 = 24,56 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 0,77) X}{U_I} = \frac{24,53 \cdot 1,46 + (27,0 - 0,77) \cdot 5,32}{241,79} = 0,11 \text{ Mvar} \quad ; Q_1 = Q_I + \Delta Q_1 = 27,0 + 0,11 = 27,11 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 0,77) X}{U_I} = \frac{24,53 \cdot 1,46 + (27,0 - 0,77) \cdot 5,32}{241,79} = 0,66 \text{ Kv} \quad ; U_1 = U_I + \Delta u_1 = 241,79 + 0,66 = 242,45 \text{ Kv}$$

Tronçon Khroubs-Darquinah(1):



$$\Delta P_2 = \frac{P_2^2 + (Q_2 - 5,13)^2}{U_2^2} - R = \frac{(4,48)^2 + (-2,62 - 5,13)^2}{(241,07)^2} - 9,72 = 0,01 \text{ Mw} \quad ; P_I = P_2 + \Delta P_2 = 4,48 + 0,01 = 4,49 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 5,13) X}{U_2} = \frac{4,48 \cdot 9,72 + (-2,62 - 5,13) \cdot 35,4}{241,07} = 0,05 \text{ Mvar} \quad ; Q_I = Q_2 + \Delta Q_2 = -2,62 + 0,05 = -2,57 \text{ Mvar}$$

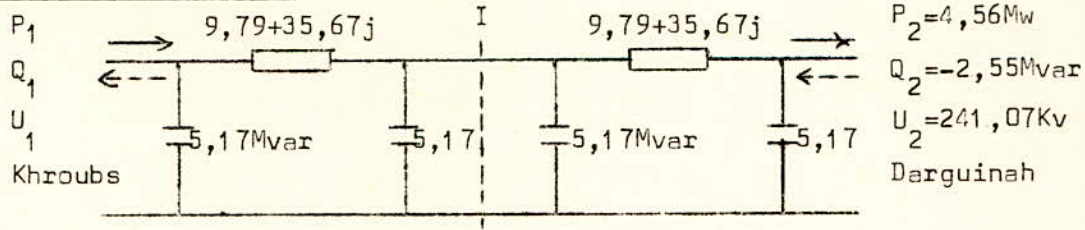
$$\Delta u_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 5,13) X}{U_2} = \frac{4,48 \cdot 9,72 + (-2,62 - 5,13) \cdot 35,4}{241,07} = -0,96 \text{ Kv} \quad ; U_I = U_2 + \Delta u_2 = 241,07 - 0,96 = 240,11 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_1 = \frac{P_I^2 + (Q_I - 5,13)^2}{U_I^2} - R = \frac{(4,49)^2 + (-2,57 - 5,13)^2}{(240,11)^2} - 9,72 = 0,06 \text{ Mw} \quad ; P_1 = P_I + \Delta P_1 = 4,49 + 0,06 = 4,55 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 5,13) X}{U_I} = \frac{4,49 \cdot 9,72 + (-2,57 - 5,13) \cdot 35,4}{240,11} = 0,2 \text{ Mvar} \quad ; Q_1 = Q_I + \Delta Q_1 = -2,57 + 0,2 = -2,37 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 5,13) X}{U_I} = \frac{4,49 \cdot 9,72 + (-2,57 - 5,13) \cdot 35,4}{240,11} = -2,48 \text{ Kv} \quad ; U_1 = U_I + \Delta u_1 = 240,11 - 2,48 = 237,63 \text{ Kv}$$

Tronçon Khroubs-Darquinah(2):



$$\Delta P_2 = \frac{P_2^2 + (Q_2 - 5,17)^2}{U_2^2} - R = \frac{(4,56)^2 + (-2,55 - 5,17)^2}{(241,07)^2} - 9,79 = 0,01 \text{ Mw} \quad ; P_I = P_2 + \Delta P_2 = 4,56 + 0,01 = 4,57 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 5,17) X}{U_2^2} = \frac{4,56 \cdot 9,79 + (-2,55 - 5,17) \cdot 35,67}{241,07^2} = 0,04 \text{ Mvar} \quad ; Q_I = Q_2 + \Delta Q_2 = -2,55 + 0,04 = -2,51 \text{ Mvar}$$

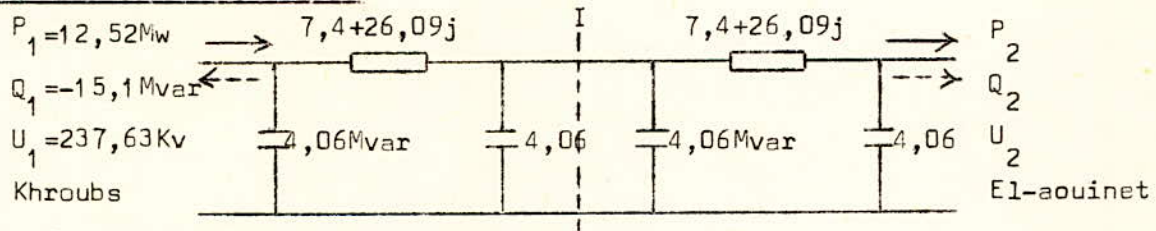
$$\Delta U_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 5,17) X}{U_2} = \frac{4,56 \cdot 9,79 + (-2,55 - 5,17) \cdot 35,67}{241,07} = -0,96 \text{ Kv} \quad ; U_I = U_2 + \Delta U_2 = 241,07 - 0,96 = 240,11 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_1 = \frac{P_I^2 + (Q_I - 5,17)^2}{U_I^2} - R = \frac{(4,57)^2 + (-2,51 - 5,17)^2}{(240,11)^2} - 9,79 = 0,06 \text{ Mw} \quad ; P_1 = P_I + \Delta P_1 = 4,57 + 0,06 = 4,63 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 5,17) X}{U_I^2} = \frac{4,57 \cdot 9,79 + (-2,51 - 5,17) \cdot 35,67}{240,11^2} = 0,21 \text{ Mvar} \quad ; Q_1 = Q_I + \Delta Q_1 = -2,51 + 0,21 = -2,30 \text{ Mvar}$$

$$\Delta U_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 5,17) X}{U_I} = \frac{4,57 \cdot 9,79 + (-2,51 - 5,17) \cdot 35,67}{240,11} = -2,48 \text{ Kv} \quad ; U_1 = U_I + \Delta U_1 = 240,11 - 2,48 = 237,63 \text{ Kv}$$

Tronçon Khroubs-El Aouinet:



$$\Delta P_1 = \frac{P_1^2 + (Q_1 + 4,06)^2}{U_1^2} - R = \frac{(12,52)^2 + (-15,1 + 4,06)^2}{(237,63)^2} - 7,4 = 0,04 \text{ Mw} \quad ; P_I = P_1 - \Delta P_1 = 12,52 - 0,04 = 12,48 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \frac{P_1 R + (Q_1 + 4,06) X}{U_1^2} = \frac{12,52 \cdot 7,4 + (-15,1 + 4,06) \cdot 26,09}{237,63^2} = 0,13 \text{ Mvar} \quad ; Q_I = Q_1 - \Delta Q_1 = -15,1 + 0,13 = -14,97 \text{ Mvar}$$

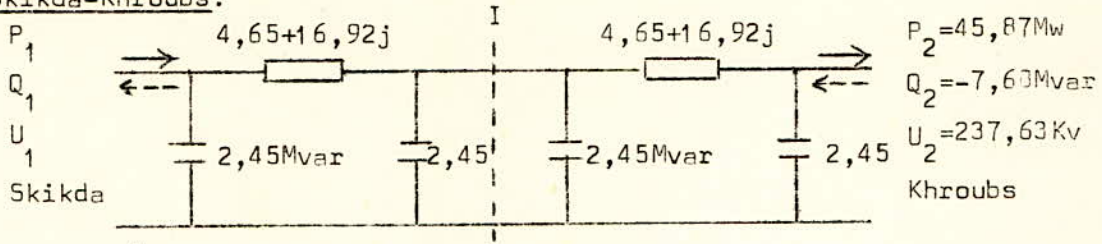
$$\Delta U_1 = \frac{P_1 R + (Q_1 + 4,06) X}{U_1} = \frac{12,52 \cdot 7,4 + (-15,1 + 4,06) \cdot 26,09}{237,63} = -0,82 \text{ Kv} \quad ; U_I = U_1 - \Delta U_1 = 237,63 + 0,82 = 238,45 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_2 = \frac{P_I^2 + (Q_I + 4,06)^2}{U_I^2} - R = \frac{(12,48)^2 + (-14,97 + 4,06)^2}{(238,45)^2} - 7,4 = 0,02 \text{ Mw} \quad ; P_2 = P_I - \Delta P_2 = 12,48 - 0,02 = 12,46 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = \frac{P_I R + (Q_I + 4,06) X}{U_I^2} = \frac{12,48 \cdot 7,4 + (-14,97 + 4,06) \cdot 26,09}{238,45^2} = 0,08 \text{ Mvar} \quad ; Q_2 = Q_I - \Delta Q_2 = -14,97 + 0,08 = -14,89 \text{ Mvar}$$

$$\Delta U_2 = \frac{P_I R + (Q_I + 4,06) X}{U_I} = \frac{12,48 \cdot 7,4 + (-14,97 + 4,06) \cdot 26,09}{238,45} = -0,05 \text{ Kv} \quad ; U_2 = U_I - \Delta U_2 = 238,45 - 0,05 = 238,4 \text{ Kv}$$

Tronçon Skikda-Khroubs:



$$\Delta P_2 = \frac{P_2^2 + (Q_2 - 2,45)^2}{U_2^2} - R = \frac{(45,87)^2 + (-7,60 - 2,45)^2}{(237,63)^2} - 4,65 = 0,18 \text{ Mw} \quad ; P_I = P_2 + \Delta P_2 = 45,87 + 0,18 = 46,05 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 2,45) X}{U_2} = \frac{45,87 \cdot 4,65 + (-7,60 - 2,45) \cdot 16,92}{237,63} = 0,66 \text{ Mvar} \quad ; Q_I = Q_2 + \Delta Q_2 - 4,9 = -11,92 \text{ Mvar}$$

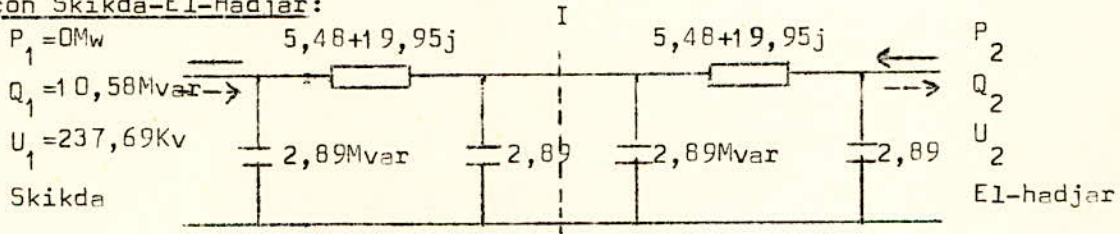
$$\Delta u_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 2,45) X}{U_2} = \frac{45,87 \cdot 4,65 + (-7,60 - 2,45) \cdot 16,92}{237,63} = 0,18 \text{ Kv} \quad ; U_I = U_2 + \Delta u_2 = 237,63 + 0,18 = 237,81 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_1 = \frac{P_I^2 + (Q_I - 2,45)^2}{U_I^2} - R = \frac{(46,05)^2 + (-11,92 - 2,45)^2}{(237,63)^2} - 4,65 = 0,19 \text{ Mw} \quad ; P_1 = P_I + \Delta P_1 = 46,05 + 0,19 = 46,24 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 2,45) X}{U_I} = \frac{46,05 \cdot 4,65 + (-11,92 - 2,45) \cdot 16,92}{237,81} = 0,7 \text{ Mvar} \quad ; Q_1 = Q_I + \Delta Q_1 - 4,9 = -16,12 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 2,45) X}{U_I} = \frac{46,05 \cdot 4,65 + (-11,92 - 2,45) \cdot 16,92}{237,81} = 0,12 \text{ Kv} \quad ; U_1 = U_I + \Delta u_1 = 237,81 - 0,12 = 237,69 \text{ Kv}$$

Tronçon Skikda-El-Hadjer:



$$\Delta P_1 = \frac{P_1^2 + (Q_1 + 2,89)^2}{U_1^2} - R = \frac{0 + (10,58 + 2,89)^2}{(237,69)^2} - 5,48 = 0,02 \text{ Mw} \quad ; P_I = P_1 - \Delta P_1 = 0 - 0,02 = -0,02 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \frac{P_1 R + (Q_1 + 2,89) X}{U_1} = \frac{0 \cdot 5,48 + (10,58 + 2,89) \cdot 19,95}{237,69} = 0,06 \text{ Mvar} \quad ; Q_I = Q_1 - \Delta Q_1 + 5,78 = 16,3 \text{ Mvar}$$

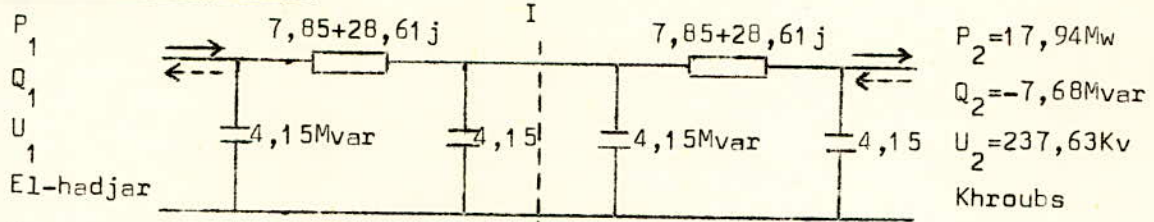
$$\Delta u_1 = \frac{P_1 R + (Q_1 + 2,89) X}{U_1} = \frac{0 \cdot 5,48 + (10,58 + 2,89) \cdot 19,95}{237,69} = 1,13 \text{ Kv} \quad ; U_I = U_1 - \Delta u_1 = 237,69 - 1,13 = 236,56 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_2 = \frac{P_I^2 + (Q_I + 2,89)^2}{U_I^2} - R = \frac{(-0,02)^2 + (16,3 + 2,89)^2}{(236,56)^2} - 5,48 = 0,04 \text{ Mw} \quad ; P_2 = P_I - \Delta P_2 = -0,02 - 0,04 = -0,06 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = \frac{P_I R + (Q_I + 2,89) X}{U_I} = \frac{-0,02 \cdot 5,48 + (16,3 + 2,89) \cdot 19,95}{236,56} = 0,13 \text{ Mvar} \quad ; Q_2 = Q_I - \Delta Q_2 + 5,78 = 21,95 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_2 = \frac{P_I R + (Q_I + 2,89) X}{U_I} = \frac{-0,02 \cdot 5,48 + (16,3 + 2,89) \cdot 19,95}{236,56} = 1,61 \text{ Kv} \quad ; U_2 = U_I - \Delta u_2 = 236,56 - 1,61 = 234,95 \text{ Kv}$$

Tronçon EL-Hadjar-Khroubs:



$$\Delta P_2 = \frac{P_2^2 + (Q_2 - 4,15)^2}{U_2^2} - R = \frac{(17,94)^2 + (-7,68 - 4,15)^2}{(237,63)^2} - 7,85 = 0,06 \text{ Mw} \quad ; P_I = P_2 + \Delta P_2 = 17,94 + 0,06 = 18 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = \text{ " " } X = \text{ " " " } 28,61 = 0,23 \text{ Mvar} ; Q_I = Q_2 + \Delta Q_2 = -8,3 = -15,75 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 4,15) X}{U_2} = \frac{17,94 \cdot 7,85 + (-7,68 - 4,15) \cdot 28,61}{237,63} = -0,83 \text{ Kv} ; U_I = U_2 + \Delta u_2 = 237,63 - 0,83 = 236,8 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_1 = \frac{P_I^2 + (Q_I - 4,15)^2}{U_I^2} - R = \frac{(18)^2 + (-15,75 - 4,15)^2}{(236,8)^2} - 7,85 = 0,1 \text{ Mw} \quad ; P_1 = P_I + \Delta P_1 = 18 + 0,1 = 18,1 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \text{ " " } X = \text{ " " " } 28,61 = 0,37 \text{ Mvar} ; Q_1 = Q_I + \Delta Q_1 = -8,3 = -23,68 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 4,15) X}{U_I} = \frac{18 \cdot 7,85 + (-15,75 - 4,15) \cdot 28,61}{236,8} = -1,82 \text{ Kv} ; U_1 = U_I + \Delta u_1 = 236,8 - 1,82 = 234,98 \text{ Kv}$$

Conclusion:

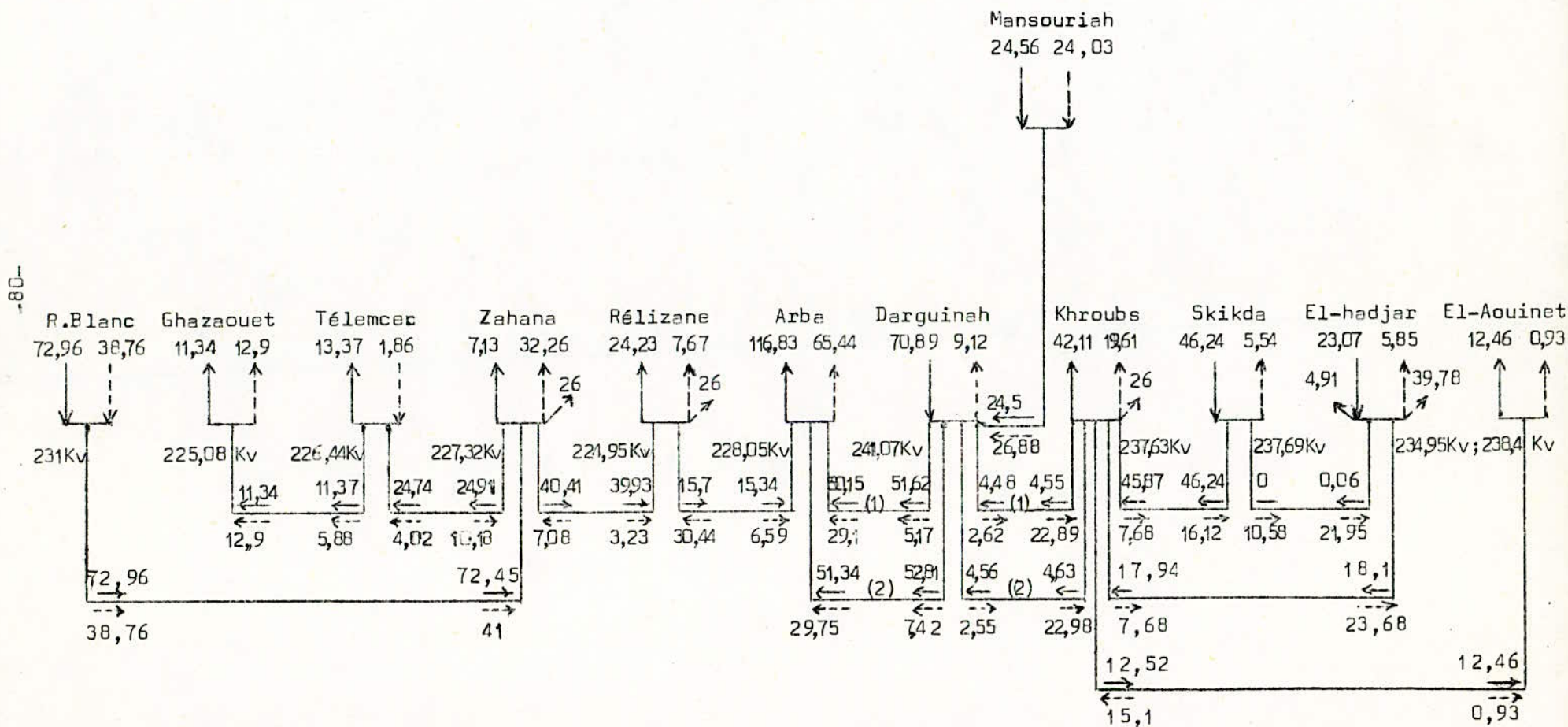
On constate qu'il y a un surplus de production d'énergie réactive qui provient des capacités de la ligne et cela se manifeste aux postes de Zahana, Relizane, Khroubs et El-Hadjar. Pour remédier à ce problème on installera des selfs de compensation qui seront toujours choisies d'après leur puissance réactive (26 Mvar). Nous installons deux bobines de réactance au poste d'El-Hadjar qui seront réglées chacune à 19,89 Mvar. Dans chacun des autres postes on placera une self de 26 Mvar.

Régime maximum de 19h(1977), bilan des puissances au niveau des jeux de barres:

Ce calcul est fait en prenant comme point de départ le poste du Ravin-Blanc.

Les flèches en traits plains indiquent la puissance active en Mw.

Les flèches en traits pointillés indiquent la puissance réactive en Mvar.



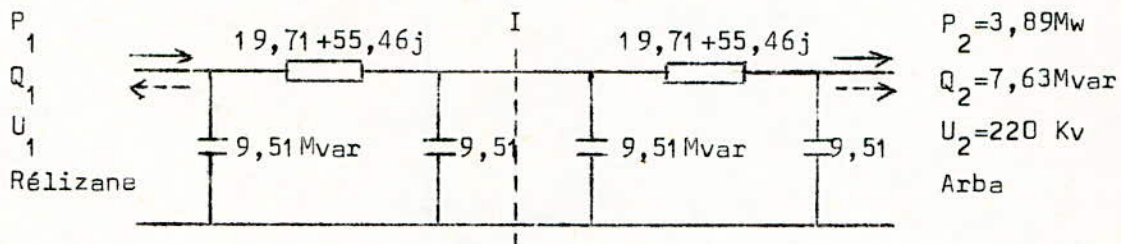
7-2 Régime minimum de 2h(1977), bilan des puissances au niveau des jeux de barres:

Vue que le niveau de tension augmente, c'est à dire il passe de 150 à 220Kv, on aura une augmentation de la capacité produite par les lignes. Cette raison est encore plus valable pour nous permettre la mise hors circuit des lignes doubles qui produisent le plus d'énergie réactive.

Au régime minimum la puissance au jeux de barres est de 25% de celle du régime maximum de 19h(1977).

Le point de départ est ici le poste de l'Arba avec une tension nominale $U_n = 220Kv$.

Tronçon Rélizane-Arba:



$$\Delta P_2 = \frac{P_2^2 + (Q_2 - 9,51)^2}{U_2^2} R = \frac{(3,89)^2 + (7,63 - 9,51)^2}{(220)^2} \cdot 19,71 = 0,01 \text{ Mw} \quad ; P_I = P_2 + \Delta P_2 = 3,89 + 0,01 = 3,9 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 9,51) X}{U_2^2} = \frac{3,89 \cdot 19,71 + (7,63 - 9,51) \cdot 55,46}{220^2} = 0,02 \text{ Mvar} \quad ; Q_I = Q_2 + \Delta Q_2 = 7,63 - 0,02 = 7,61 \text{ Mvar}$$

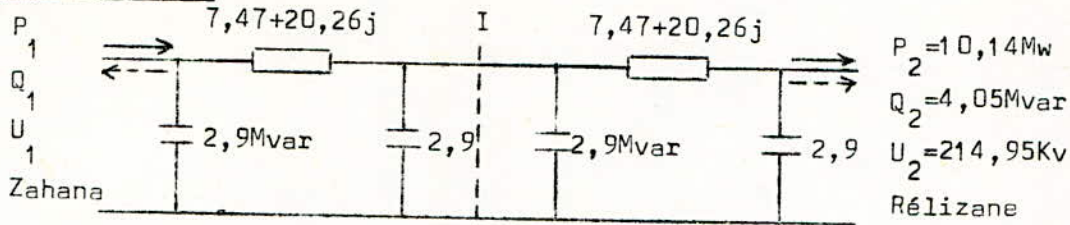
$$\Delta U_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 9,51) X}{U_2} = \frac{3,89 \cdot 19,71 + (7,63 - 9,51) \cdot 55,46}{220} = -0,13 \text{ Kv} \quad ; U_I = U_2 + \Delta U_2 = 220 - 0,13 = 219,87 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_1 = \frac{P_I^2 + (Q_I - 9,51)^2}{U_I^2} R = \frac{(3,9)^2 + (-11,37 - 9,51)^2}{(219,87)^2} \cdot 19,71 = 0,18 \text{ Mw} \quad ; P_1 = P_I + \Delta P_1 = 3,9 + 0,18 = 4,08 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 9,51) X}{U_I^2} = \frac{3,9 \cdot 19,71 + (-11,37 - 9,51) \cdot 55,46}{219,87^2} = 0,52 \text{ Mvar} \quad ; Q_1 = Q_I + \Delta Q_1 = 7,61 - 0,52 = 7,09 \text{ Mvar}$$

$$\Delta U_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 9,51) X}{U_I} = \frac{3,9 \cdot 19,71 + (-11,37 - 9,51) \cdot 55,46}{219,87} = -4,92 \text{ Kv} \quad ; U_1 = U_I + \Delta U_1 = 219,87 - 4,92 = 214,95 \text{ Kv}$$

Tronçon Zahana-Relizane:



$$\Delta P_2 = \frac{P_2^2 + (Q_2 - 2,9)^2}{U_2^2} R = \frac{(10,14)^2 + (4,05 - 2,9)^2}{(214,95)^2} \cdot 7,47 = 0,02 \text{ Mw} \quad ; P_I = P_2 + \Delta P_2 = 10,14 + 0,02 = 10,16 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = \text{ " " " " X = " " " " " " " " } 20,26 = 0,05 \text{ Mvar} ; Q_I = Q_2 + \Delta Q_2 = 4,05 - 0,05 = 4,00 \text{ Mvar}$$

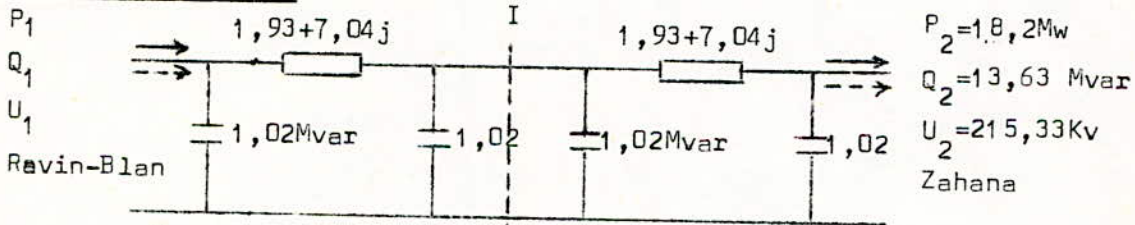
$$\Delta u_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 2,9) X}{U_2} = \frac{10,14 \cdot 7,47 + (4,05 - 2,9) \cdot 20,26}{214,95} = 0,46 \text{ Kv} ; U_I = U_2 + \Delta u_2 = 214,95 + 0,46 = 215,41 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_1 = \frac{P_I^2 + (Q_I - 2,9)^2}{U_I^2} R = \frac{(10,16)^2 + (4,00 - 2,9)^2}{(215,41)^2} \cdot 7,47 = 0,02 \text{ Mw} \quad ; P_1 = P_I + \Delta P_1 = 10,16 + 0,02 = 10,18 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \text{ " " " " X = " " " " " " " " } 20,26 = 0,05 \text{ Mvar} ; Q_1 = Q_I + \Delta Q_1 = 4,00 - 0,05 = 3,95 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 2,9) X}{U_I} = \frac{10,16 \cdot 7,47 + (4,00 - 2,9) \cdot 20,26}{215,41} = -0,08 \text{ Kv} ; U_1 = U_I + \Delta u_1 = 215,41 - 0,08 = 215,33 \text{ Kv}$$

Tronçon Ravin-Blanc-Zahana:



$$\Delta P_2 = \frac{P_2^2 + (Q_2 - 1,02)^2}{U_2^2} R = \frac{(18,2)^2 + (13,63 - 1,02)^2}{(215,33)^2} \cdot 1,93 = 0,02 \text{ Mw} \quad ; P_I = P_2 + \Delta P_2 = 18,2 + 0,02 = 18,22 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = \text{ " " " " X = " " " " " " " " } 7,04 = 0,07 \text{ Mvar} ; Q_I = Q_2 + \Delta Q_2 = 13,63 - 0,07 = 13,56 \text{ Mvar}$$

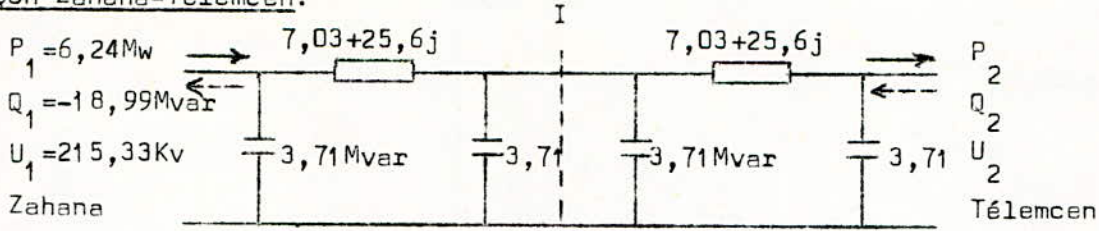
$$\Delta u_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 1,02) X}{U_2} = \frac{18,2 \cdot 1,93 + (13,63 - 1,02) \cdot 7,04}{215,33} = 0,58 \text{ Kv} ; U_I = U_2 + \Delta u_2 = 215,33 + 0,58 = 215,91 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_1 = \frac{P_I^2 + (Q_I - 1,02)^2}{U_I^2} R = \frac{(18,22)^2 + (13,56 - 1,02)^2}{(215,91)^2} \cdot 1,93 = 0,02 \text{ Mw} \quad ; P_1 = P_I + \Delta P_1 = 18,22 + 0,02 = 18,24 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \text{ " " " " X = " " " " " " " " } 7,04 = 0,07 \text{ Mvar} ; Q_1 = Q_I + \Delta Q_1 = 13,56 - 0,07 = 13,49 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 1,02) X}{U_I} = \frac{18,22 \cdot 1,93 + (13,56 - 1,02) \cdot 7,04}{215,91} = 0,51 \text{ Kv} ; U_1 = U_I + \Delta u_1 = 215,91 + 0,51 = 216,42 \text{ Kv}$$

Tronçon Zahana-Telemcen:



$$\Delta P_1 = \frac{P_1^2 + (Q_1 + 3,71)^2}{U_1^2} - R = \frac{(6,24)^2 + (-18,99 + 3,71)^2}{(215,33)^2} - 7,03 = 0,04 \text{ Mw} ; P_I = P_1 - \Delta P_1 = 6,24 - 0,04 = 6,2 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \text{ " " " " } X = \text{ " " " " } 25,6 = 0,15 \text{ Mvar} ; Q_I = Q_1 - \Delta Q_1 + 7,42 = -11,72 \text{ Mvar}$$

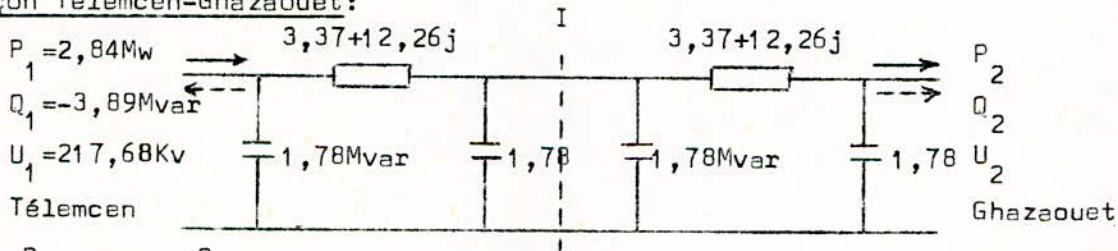
$$\Delta u_1 = \frac{P_I R + (Q_I + 3,71) X}{U_1} = \frac{6,2 \cdot 7,03 + (-11,72 + 3,71) \cdot 25,6}{215,33} = -1,61 \text{ Kv} ; U_I = U_1 - \Delta u_1 = 215,33 + 1,61 = 216,94 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_2 = \frac{P_I^2 + (Q_I + 3,71)^2}{U_I^2} - R = \frac{(6,2)^2 + (-11,72 + 3,71)^2}{(216,94)^2} - 7,03 = 0,02 \text{ Mw} ; P_2 = P_I - \Delta P_2 = 6,2 - 0,02 = 6,18 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = \text{ " " " " } X = \text{ " " " " } 25,6 = 0,06 \text{ Mvar} ; Q_2 = Q_I - \Delta Q_2 + 7,42 = -4,36 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_2 = \frac{P_I R + (Q_I + 3,71) X}{U_I} = \frac{6,2 \cdot 7,03 + (-11,72 + 3,71) \cdot 25,6}{216,94} = -0,74 \text{ Kv} ; U_2 = U_I - \Delta u_2 = 216,94 + 0,74 = 217,68 \text{ Kv}$$

Tronçon Telemcen-Ghazaouet:



$$\Delta P_1 = \frac{P_1^2 + (Q_1 + 1,78)^2}{U_1^2} - R = \frac{(2,84)^2 + (-3,89 + 1,78)^2}{(217,68)^2} - 3,37 = 0,001 \text{ OMw} ; P_I = P_1 - \Delta P_1 = 2,84 - 0 = 2,84 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \text{ " " " " } X = \text{ " " " " } 12,26 = 0,003 \text{ OMvar} ; Q_I = Q_1 - \Delta Q_1 + 3,56 = -0,33 \text{ Mvar}$$

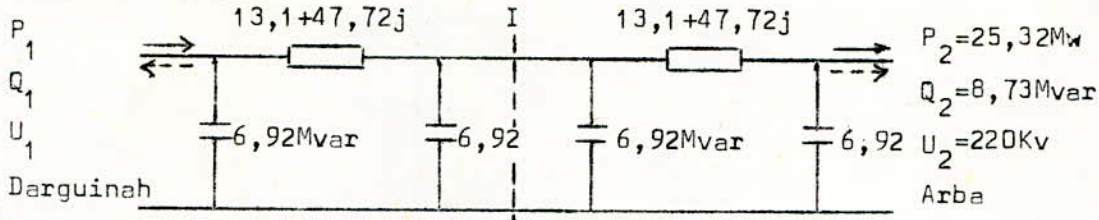
$$\Delta u_1 = \frac{P_I R + (Q_I + 1,78) X}{U_1} = \frac{2,84 \cdot 3,37 + (-0,33 + 1,78) \cdot 12,26}{217,68} = 0,07 \text{ Kv} ; U_I = U_1 - \Delta u_1 = 217,68 + 0,07 = 217,75 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_2 = \frac{P_I^2 + (Q_I + 1,78)^2}{U_I^2} - R = \frac{(2,84)^2 + (-0,33 + 1,78)^2}{(217,75)^2} - 3,37 = 0,001 \text{ OMw} ; P_2 = P_I - \Delta P_2 = 2,84 - 0 = 2,84 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = \text{ " " " " } X = \text{ " " " " } 12,26 = 0,003 \text{ OMvar} ; Q_2 = Q_I - \Delta Q_2 + 3,56 = 3,23 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_2 = \frac{P_I R + (Q_I + 1,78) X}{U_I} = \frac{2,84 \cdot 3,37 + (-0,33 + 1,78) \cdot 12,26}{217,75} = 0,13 \text{ Kv} ; U_2 = U_I - \Delta u_2 = 217,75 - 0,13 = 217,62 \text{ Kv}$$

Tronçon Darquinah-Arba(2):



$$\Delta P_2 = \frac{P_2^2 + (Q_2 - 6,92)^2}{U_2^2} R = \frac{(25,32)^2 + (8,73 - 6,92)^2}{(220)^2} \cdot 13,1 = 0,17 \text{ Mw} ; P_I = P_2 + \Delta P_2 = 25,32 + 0,17 = 25,49 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 6,92) X}{U_2^2} = \frac{25,32 \cdot 13,1 + (8,73 - 6,92) \cdot 47,72}{220^2} = 0,64 \text{ Mvar} ; Q_I = Q_2 + \Delta Q_2 = 8,73 - 0,64 = 8,09 \text{ Mvar}$$

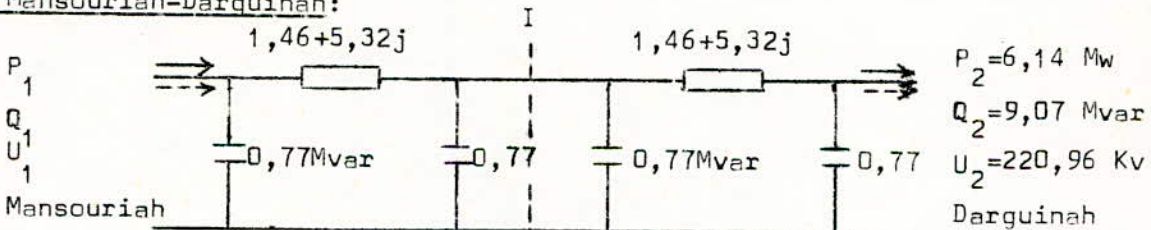
$$\Delta u_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 6,92) X}{U_2} = \frac{25,32 \cdot 13,1 + (8,73 - 6,92) \cdot 47,72}{220} = 1,9 \text{ Kv} ; U_I = U_2 + \Delta u_2 = 220 + 1,9 = 221,9 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_1 = \frac{P_I^2 + (Q_I - 6,92)^2}{U_I^2} R = \frac{(25,49)^2 + (8,09 - 6,92)^2}{(221,9)^2} \cdot 13,1 = 0,21 \text{ Mw} ; P_1 = P_I + \Delta P_1 = 25,49 + 0,21 = 25,7 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 6,92) X}{U_I^2} = \frac{25,49 \cdot 13,1 + (8,09 - 6,92) \cdot 47,72}{221,9^2} = 0,76 \text{ Mvar} ; Q_1 = Q_I + \Delta Q_1 = 8,09 - 0,76 = 7,33 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 6,92) X}{U_I} = \frac{25,49 \cdot 13,1 + (8,09 - 6,92) \cdot 47,72}{221,9} = -0,94 \text{ Kv} ; U_1 = U_I + \Delta u_1 = 221,9 - 0,94 = 220,96 \text{ Kv}$$

Tronçon Mansouriah-Darquinah:



$$\Delta P_2 = \frac{P_2^2 + (Q_2 - 0,77)^2}{U_2^2} R = \frac{(6,14)^2 + (9,07 - 0,77)^2}{(220,96)^2} \cdot 1,46 = 0,003 \text{ OMw} ; P_I = P_2 + \Delta P_2 = 6,14 + 0 = 6,14 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 0,77) X}{U_2^2} = \frac{6,14 \cdot 1,46 + (9,07 - 0,77) \cdot 5,32}{220,96^2} = 0,01 \text{ Mvar} ; Q_I = Q_2 + \Delta Q_2 = 9,07 - 0,01 = 9,06 \text{ Mvar}$$

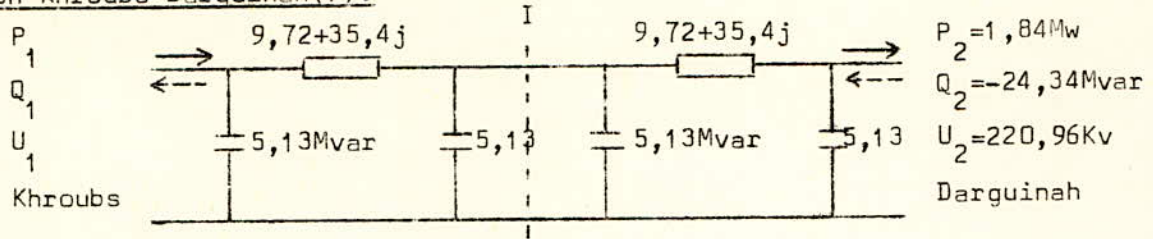
$$\Delta u_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 0,77) X}{U_2} = \frac{6,14 \cdot 1,46 + (9,07 - 0,77) \cdot 5,32}{220,96} = 0,24 \text{ Kv} ; U_I = U_2 + \Delta u_2 = 220,96 + 0,24 = 221,2 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_1 = \frac{P_I^2 + (Q_I - 0,77)^2}{U_I^2} R = \frac{(6,14)^2 + (9,06 - 0,77)^2}{(221,2)^2} \cdot 1,46 = 0,002 \text{ OMw} ; P_1 = P_I + \Delta P_1 = 6,14 + 0 = 6,14 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 0,77) X}{U_I^2} = \frac{6,14 \cdot 1,46 + (9,06 - 0,77) \cdot 5,32}{221,2^2} = 0,01 \text{ Mvar} ; Q_1 = Q_I + \Delta Q_1 = 9,06 - 0,01 = 9,05 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 0,77) X}{U_I} = \frac{6,14 \cdot 1,46 + (9,06 - 0,77) \cdot 5,32}{221,2} = 0,2 \text{ Kv} ; U_1 = U_I + \Delta u_1 = 221,2 + 0,2 = 221,4 \text{ Kv}$$

Tronçon Khroubs-Darquinah(1):



$$\Delta P_2 = \frac{P_2^2 + (Q_2 - 5,13)^2}{U_2^2} - R = \frac{(1,84)^2 + (-24,34 - 5,13)^2}{(220,96)^2} - 9,72 = 0,17 \text{ Mw} ; P_I = P_2 + \Delta P_2 = 1,84 + 0,17 = 2,01 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = \dots \times = \dots \times 35,4 = 0,63 \text{ Mvar} ; Q_I = Q_2 + \Delta Q_2 - 10,26 = -33,97 \text{ Mvar}$$

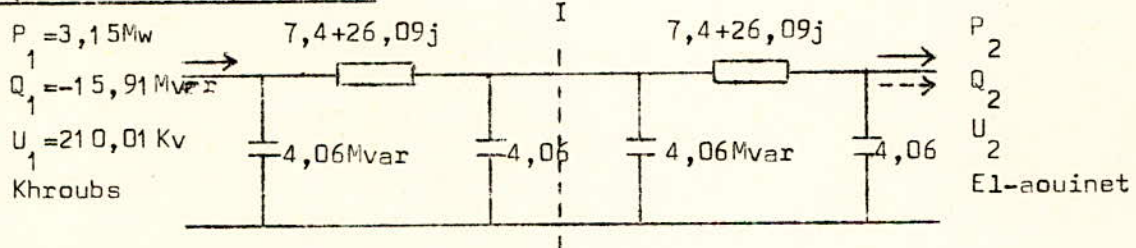
$$\Delta u_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 5,13) X}{U_2} = \frac{1,84 \cdot 9,72 + (-24,34 - 5,13) \cdot 35,4}{220,96} = -4,64 \text{ Kv} ; U_I = U_2 + \Delta u_2 = 220,96 - 4,64 = 216,32 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_1 = \frac{P_I^2 + (Q_I - 5,13)^2}{U_I^2} - R = \frac{(2,01)^2 + (-33,97 - 5,13)^2}{(216,32)^2} - 9,72 = 0,32 \text{ Mw} ; P_1 = P_I + \Delta P_1 = 2,01 + 0,32 = 2,33 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \dots \times = \dots \times 35,4 = 1,16 \text{ Mvar} ; Q_1 = Q_I + \Delta Q_1 - 10,26 = -43,07 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 5,13) X}{U_I} = \frac{2,01 \cdot 9,72 + (-33,97 - 5,13) \cdot 35,4}{216,32} = -6,31 \text{ Kv} ; U_1 = U_I + \Delta u_1 = 216,32 - 6,31 = 210,01 \text{ Kv}$$

Tronçon Khroubs-El-aouinet:



$$\Delta P_1 = \frac{P_1^2 + (Q_1 + 4,06)^2}{U_1^2} - R = \frac{(3,15)^2 + (-15,91 + 4,06)^2}{(210,01)^2} - 7,4 = 0,03 \text{ Mw} ; P_I = P_1 - \Delta P_1 = 3,15 - 0,03 = 3,12 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \dots \times = \dots \times 26,09 = 0,09 \text{ Mvar} ; Q_I = Q_1 - \Delta Q_1 + 8,12 = -7,88 \text{ Mvar}$$

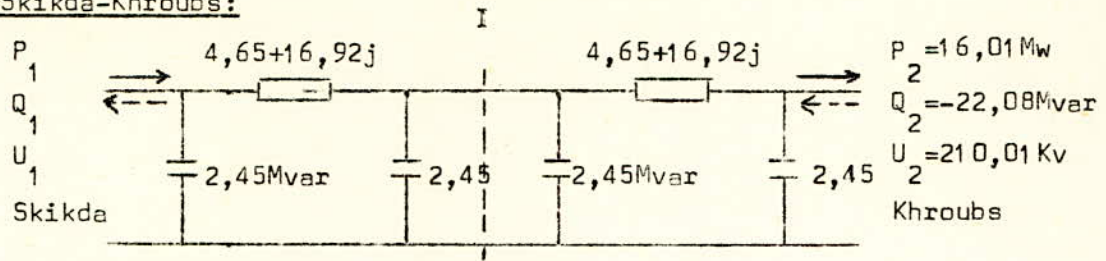
$$\Delta u_1 = \frac{P_1 R + (Q_1 + 4,06) X}{U_1} = \frac{3,15 \cdot 7,4 + (-15,91 + 4,06) \cdot 26,09}{210,01} = -1,36 \text{ Kv} ; U_I = U_1 - \Delta u_1 = 210,01 + 1,36 = 211,37 \text{ Kv}$$

$$\Delta P_2 = \frac{P_I^2 + (Q_I + 4,06)^2}{U_I^2} - R = \frac{(3,12)^2 + (-7,88 + 4,06)^2}{(211,37)^2} - 7,4 = 0,004 \text{ Mw} ; P_2 = P_I - \Delta P_2 = 3,12 - 0 = 3,12 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = \dots \times = \dots \times 26,09 = 0,01 \text{ Mvar} ; Q_2 = Q_I - \Delta Q_2 + 8,12 = 0,23 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_2 = \frac{P_I R + (Q_I + 4,06) X}{U_I} = \frac{3,12 \cdot 7,4 + (-7,88 + 4,06) \cdot 26,09}{211,37} = -0,36 \text{ Kv} ; U_2 = U_I - \Delta u_2 = 211,37 + 0,36 = 211,73 \text{ Kv}$$

Tronçon Skikda-Khroubs:



$$\Delta P_2 = \frac{P_2^2 + (Q_2 - 2,45)^2}{U_2^2} - R = \frac{(16,01)^2 + (-22,08 - 2,45)^2}{(210,01)^2} - 4,65 = 0,09 \text{ Mw} ; P_I = P_2 + \Delta P_2 = 16,01 + 0,09 = 16,1 \text{ Mw}$$

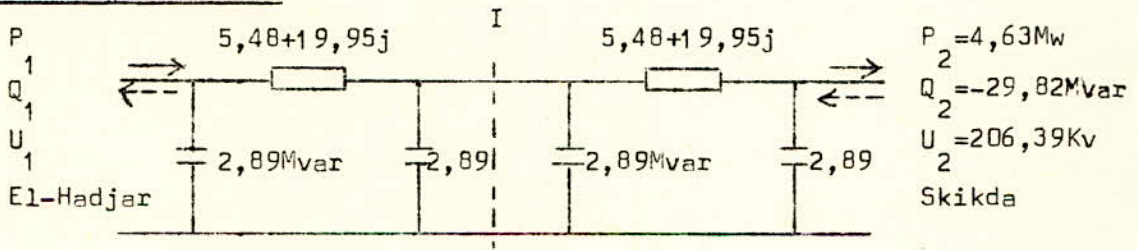
$$\Delta Q_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 2,45) X}{U_2} = \frac{16,01 \cdot 4,65 + (-22,08 - 2,45) \cdot 16,92}{210,01} = -1,62 \text{ Kvar} ; Q_I = Q_2 + \Delta Q_2 = -22,08 - 1,62 = -23,7 \text{ Mvar}$$

$$\Delta P_1 = \frac{P_I^2 + (Q_I - 2,45)^2}{U_I^2} - R = \frac{(16,1)^2 + (-23,7 - 2,45)^2}{(208,39)^2} - 4,65 = 0,09 \text{ Mw} ; P_1 = P_I + \Delta P_1 = 16,1 + 0,09 = 16,19 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 2,45) X}{U_I} = \frac{16,1 \cdot 4,65 + (-23,7 - 2,45) \cdot 16,92}{208,39} = -2 \text{ Kvar} ; Q_1 = Q_I + \Delta Q_1 = -23,7 - 2 = -25,7 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 2,45) X}{U_2} = \frac{16,01 \cdot 4,65 + (-22,08 - 2,45) \cdot 16,92}{210,01} = -1,62 \text{ Kv} ; U_I = U_2 + \Delta u_2 = 210,01 - 1,62 = 208,39 \text{ Kv}$$

Tronçon El-hadjar-Skikda:



$$\Delta P_2 = \frac{P_2^2 + (Q_2 - 2,89)^2}{U_2^2} - R = \frac{(4,63)^2 + (-29,82 - 2,89)^2}{(206,39)^2} - 5,48 = 0,14 \text{ Mw} ; P_I = P_2 + \Delta P_2 = 4,63 + 0,14 = 4,77 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_2 = \frac{P_2 R + (Q_2 - 2,89) X}{U_2} = \frac{4,63 \cdot 5,48 + (-29,82 - 2,89) \cdot 19,95}{206,39} = -3,04 \text{ Kvar} ; Q_I = Q_2 + \Delta Q_2 = -29,82 - 3,04 = -32,86 \text{ Mvar}$$

$$\Delta P_1 = \frac{P_I^2 + (Q_I - 2,89)^2}{U_I^2} - R = \frac{(4,77)^2 + (-32,86 - 2,89)^2}{(203,35)^2} - 5,48 = 0,19 \text{ Mw} ; P_1 = P_I + \Delta P_1 = 4,77 + 0,19 = 4,96 \text{ Mw}$$

$$\Delta Q_1 = \frac{P_I R + (Q_I - 2,89) X}{U_I} = \frac{4,77 \cdot 5,48 + (-32,86 - 2,89) \cdot 19,95}{203,35} = -3,6 \text{ Kvar} ; Q_1 = Q_I + \Delta Q_1 = -32,86 - 3,6 = -36,46 \text{ Mvar}$$

$$\Delta u_1 = \frac{P_1 R + (Q_1 - 2,89) X}{U_1} = \frac{4,96 \cdot 5,48 + (-36,46 - 2,89) \cdot 19,95}{203,35} = -3,6 \text{ Kv} ; U_I = U_1 + \Delta u_1 = 203,35 - 3,6 = 199,75 \text{ Kv}$$

Régime minimum de 2h(1977), bilan des puissances au niveau des jeux de barres:

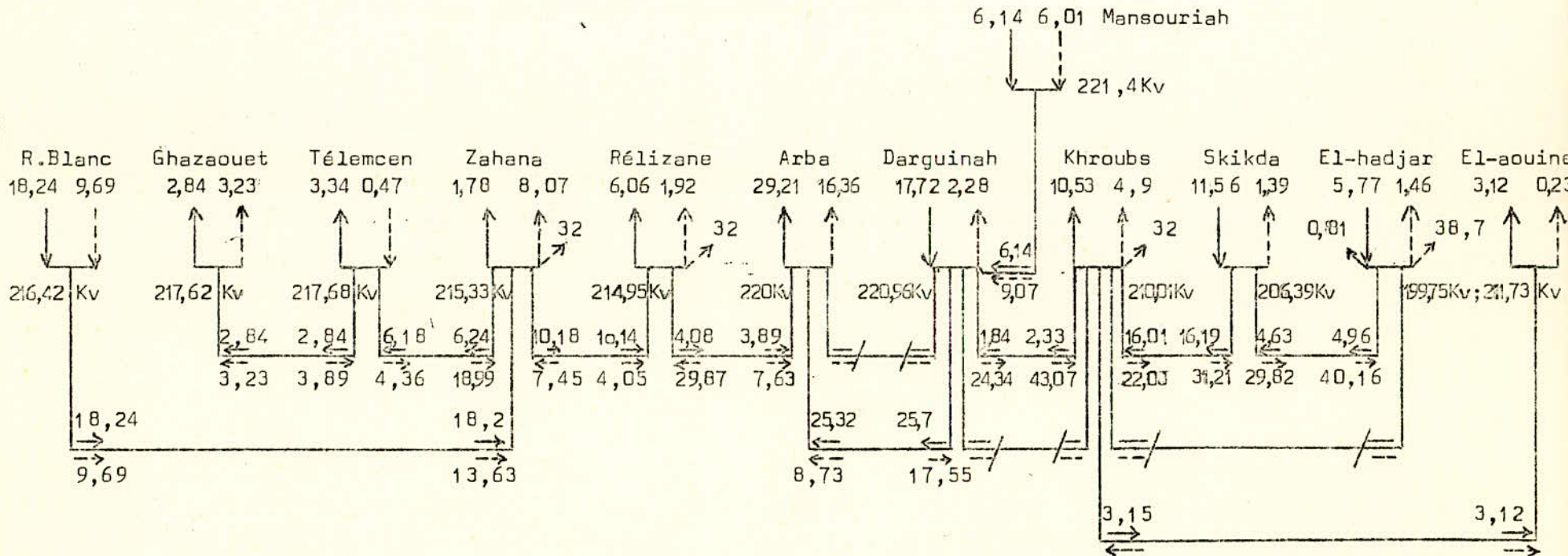
Ce calcul est fait en prenant comme point de départ le poste de l'Arba.

Les flèches en traits pleins indiquent la puissance active en Mw.

Les flèches en traits pointillés indiquent la puissance réactive en Mvar.

Nous avons repris ici les mêmes considérations, c'est à dire les lignes doubles mises hors circuit sont les mêmes. Nous installons des bobines de réactance de 40Mvar. Celles des postes de Zahana, Rélizane et Khroubs sont réglées à 32Mvar, celle du poste de El-Hadjar à 38,7Mvar. Nous remarquons que la puissance réactive à compenser, dans le régime minimum de 2h(1977), est plus grande que dans le cas du régime minimum de 2h(1976), et cela est dû à l'augmentation du niveau de tension (de 150Kv à 220Kv).

Le signe (/) veut dire que la ligne est mise hors circuit.



VIII CONCLUSION

A mesure que la consommation d'énergie électrique augmente, la puissance réactive pose des problèmes plus compliqués, surtout sous l'aspect de sa production et de sa répartition.

En effet les facteurs de puissance sont variables dans de larges limites, et une grande circulation de puissance réactive a des conséquences néfastes. Elle fait fonctionner les alternateurs à un facteur de puissance inférieur au facteur de puissance nominale, bloque la capacité de transport des lignes, occasionne des grandes pertes d'énergie active, des chutes de tensions plus importantes et rend l'exploitation des réseaux plus délicate et coûteuse.

La mise en oeuvre d'un projet de lignes HT et THT à l'échelle nationale pose des problèmes contraires, vu que les lignes Électriques Aériennes sont conçues pour 30 années. Dans les premières années de service le réseau est peu chargé et il produit de l'énergie réactive. Pour diminuer les surtensions qui en résultent nous installons des selfs de compensation de puissance réactive. C'est le cas du passage de la tension de 150 Kv à 220 Kv du réseau algérien.

Pour remédier à ces problèmes de transit de puissance réactive et de surtension nous avons proposé dans le chapitre V plusieurs moyens de compensation de l'énergie réactive.

Enfin nous avons voulu faire de ce travail, un exemple utile. Nous avons proposé comme côté pratique un calcul de circulation de puissance du réseau de transport algérien dont on a prévu la compensation nécessaire. Nous avons été obligé de mettre hors circuit les lignes doubles en régime à vide pour diminuer la puissance réactive à compenser.

Pour le régime à vide de 2^h00 1976 il nous suffit d'installer des bobines de réactance de 15 Mvar. Mais pour le régime en charge 19^h00 1977 il nous faut installer des bobines de réactance de 26 Mvar. De même pour le régime à vide 2^h00 1977 il nous faut installer des bobines de réactance de 40 Mvar.

Considérons la situation avenir (1977); à vide la puissance réactive à compenser est plus grande qu'en charge, car les pertes de puissance réactive sont beaucoup trop faibles. Elle est encore plus grande que dans le cas du régime à vide de 2^h00 1976, car le niveau de tension va augmenter, il passe de 150 à 220 Kv. Vu l'importance de la puissance réactive à compenser le réseau algérien sera peut chargé en 1977.

BIBLIOGRAPHIE.

- (1) Compensateur statique et réglable de puissance réactive pour réseaux à HT.
Revue Brown Boveri 9/10/74.
- (2) Compensateur synchrone de 160 Mvar. Revue Brown Boveri 7/74.
- (3) Fonctionnement et protection des réseaux de transport d'électricité.
Ganthiers. Villars Editeur 1963 par PIERRE HENRIET.
- (4) Les réseaux d'énergie électrique . R. Pelissier.
- (5) Technique de l'Ingénieur .Electricité tome 3.
- (6) Cours d'électrotechnique par E. Gillon tome 3.
- (7) R G E *Octobre 1970*
 juin 1968.
- (8) Polycopé de Monsieur G. CIRTINA. Dr Ingénieur .
- (9) Cours d'électrotechnique par E. Gillon. Théories Générales.