

Ministère de la formation professionnelle de l'emploi et de
l'artisanat

Centre d'entrepreneuriat et de développement technique « le
G15 »

Ingénieur-Professeur Ngouda DIONE

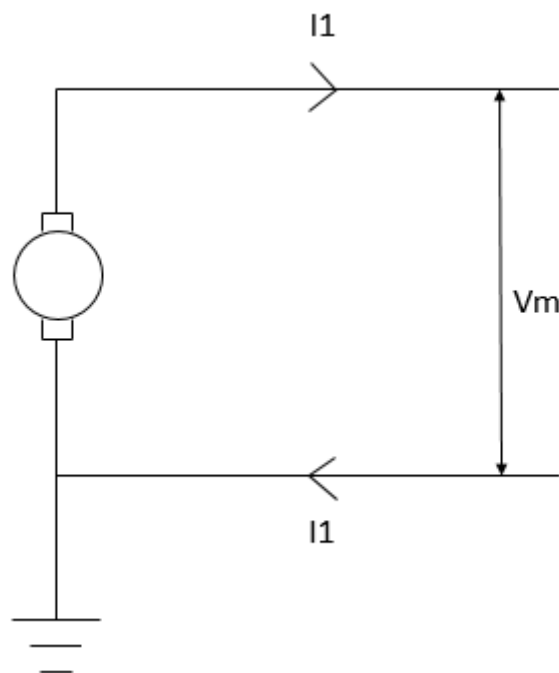
Suite cours de T.G.P. 2^e année Electrotechnique

Chapitre 3 : Distribution du courant électrique

I. Rappels théoriques et mathématiques

1) En courant continu

- a. Système DC à 2 conducteurs avec un conducteur mise à la terre



V_m tension entre bornes

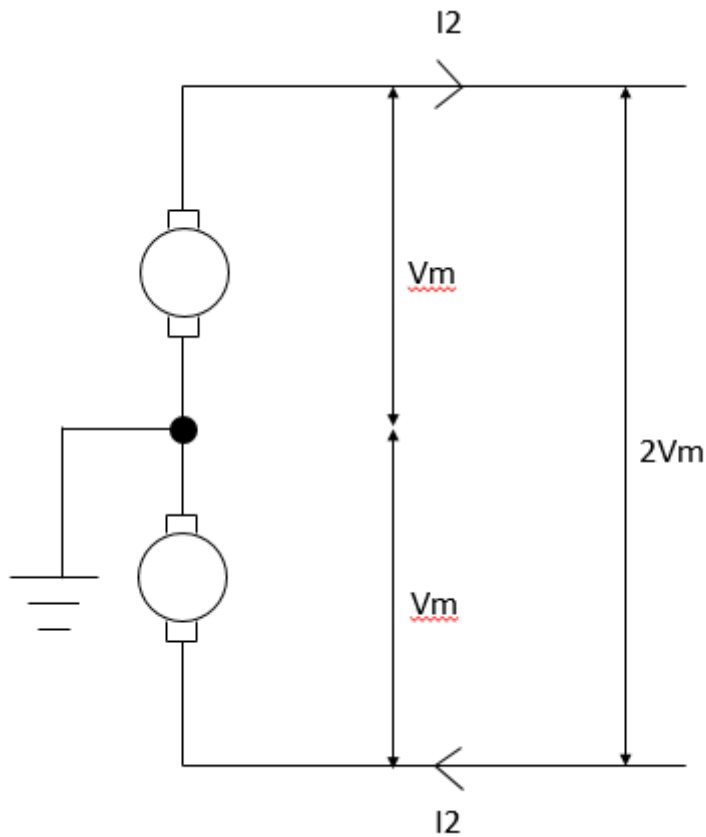
$$I_1 = \frac{P}{V_m}$$

$$\Delta P = 2I_1^2 R \quad ; \quad R = \rho \frac{l}{s_1}$$

$$\Delta P = 2 \left(\frac{P}{V_m} \right)^2 \cdot \rho \frac{l}{s_1} \rightarrow \Delta P = \frac{2P^2 \rho l}{V_m^2 s_1} \quad d'où \quad \boxed{s_1 = \frac{2P^2 \rho l}{\Delta P \cdot V_m^2}}$$

$$volume, v = 2 \cdot s_1 \cdot l \rightarrow \boxed{v = \frac{4P^2 \rho l^2}{\Delta P V_m^2}}$$

b. Schéma à deux conducteurs DC avec point milieu mis à la terre



$$I_2 = \frac{P}{2V_m}$$

$$\Delta P = 2I_2^2 \cdot R \quad , \quad R = \rho \frac{l}{s_2} \rightarrow \Delta P = 2 \left(\frac{P}{2V_m} \right)^2 \cdot \rho \frac{l}{s_2}$$

$$v = 2s_2 \cdot l \rightarrow \boxed{v = \frac{P^2 \rho l^2}{\Delta P \cdot V_m^2}}$$

c. Schéma DC avec trois conducteurs

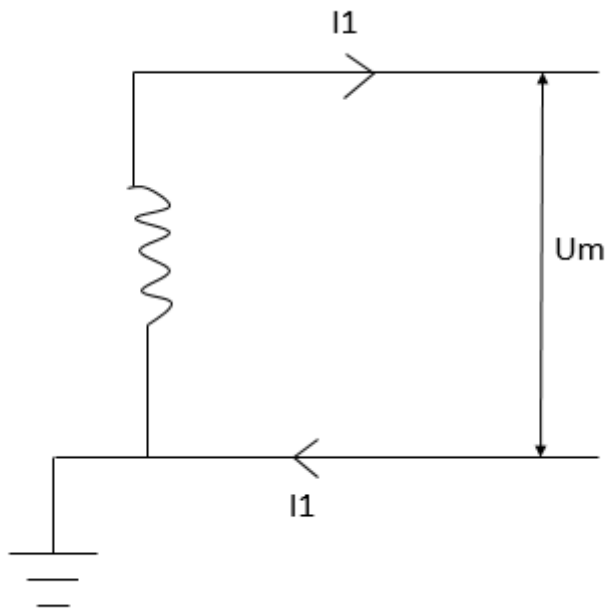
Puissance entre conducteurs : $\frac{P}{2}$

$$I_3 = \frac{P/2}{2V_m}$$

$$volume \ v = \frac{2,5P^2 \rho l}{2V_m}$$

2) En courant alternatif

a. Schéma AC monophasé à deux conducteurs avec un conducteur mise à la terre



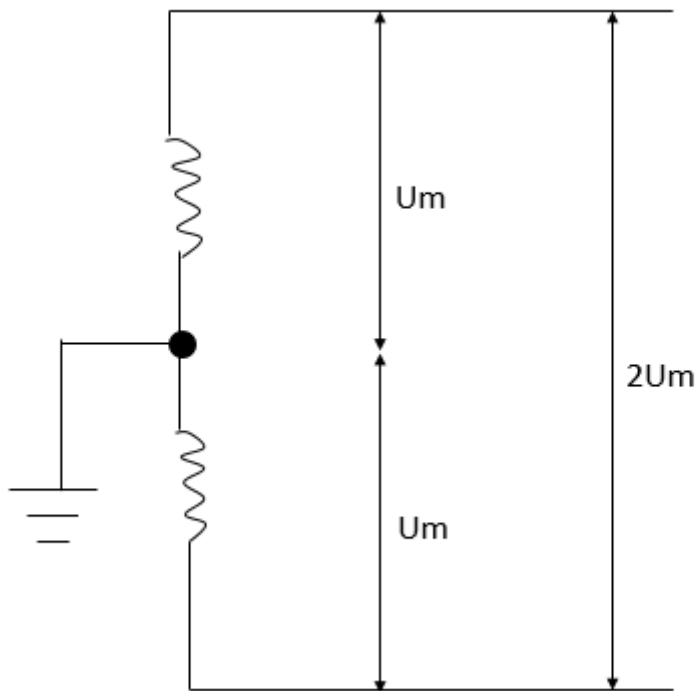
U_m tension maximale et U tension efficace entre conducteurs

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

$$I = \frac{P}{\frac{U_m}{\sqrt{2}} \cdot \cos \varphi} ; \quad \Delta P = 2I^2 R$$

$$volume \quad v = \frac{4P^2 \rho l^2}{\Delta P U_m^2 \cos^2 \varphi}$$

b. Schéma AC monophasé à deux conducteurs avec point milieu



$$U = \sqrt{2}U_m$$

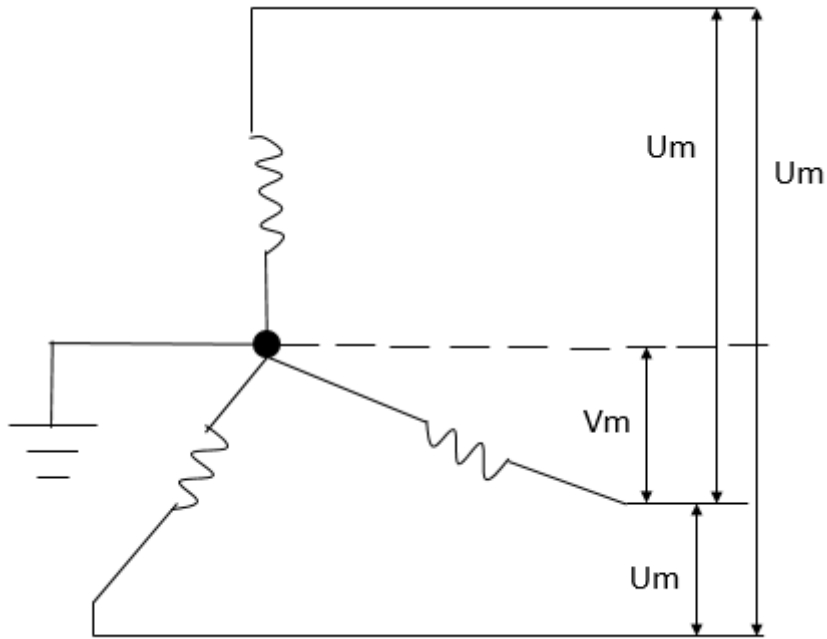
$$I = \frac{P}{\sqrt{2}U_m \cos \varphi} ; \quad \Delta P = 2I^2 R$$

$$volume \quad v = \frac{P^2 \rho l^2}{\Delta P \cdot U_m^2 \cos^2 \varphi}$$

c. Schéma AC monophasé avec trois conducteurs

$$I = \frac{P}{\frac{U_m}{\sqrt{2}} \cos \varphi} ; \quad volume \quad v = \frac{2,5 \cdot P^2 \rho l^2}{\Delta P \cdot U_m^2 \cos^2 \varphi}$$

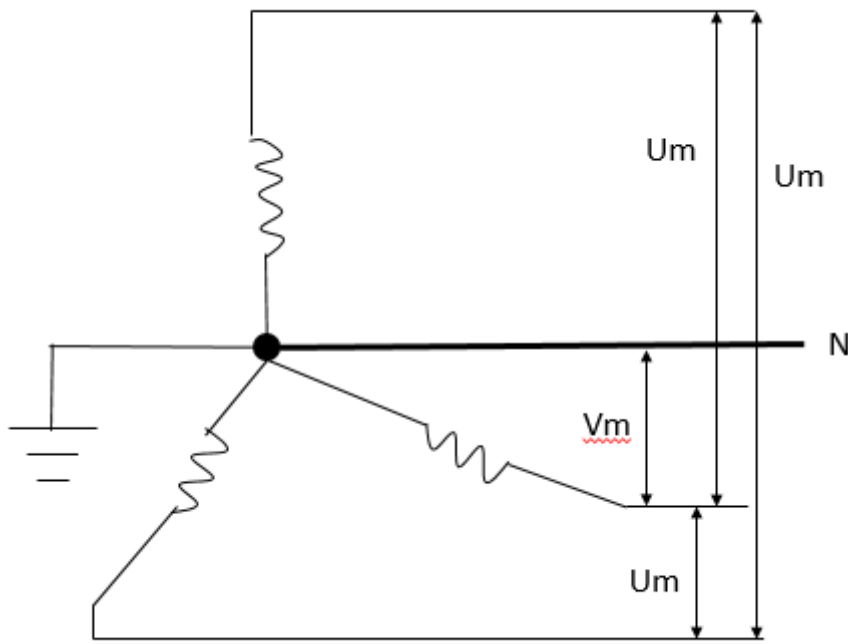
d. Schéma AC triphasé à trois conducteurs



$$I = \frac{P/3}{\frac{U_m}{\sqrt{2}} \cos \varphi} ; \Delta P = 3RI^2$$

$$\text{volume } v = \frac{2P^2 \rho l^2}{U_m^2 \cos^2 \varphi \cdot \Delta P}$$

e. Schéma AC triphasé à quatre conducteurs (neutre non négligé)



$$\Delta P = \frac{2P^2 \rho l}{3U_m^2 \cos \varphi . s}$$

$$S = \frac{2P^2 \rho l}{3U_m^2 \cos \varphi . \Delta P}$$

II. Le poste de distribution de l'énergie électrique

Avant 2015, les postes de distribution au sont Sénégal étaient des postes alimentés allant de 4 à 6,5kV.

Avec la boucle de Dakar commencée en 2008, les postes de distribution de Dakar et banlieue sont connectés en boucle et alimentés par une tension de 30kV parallèlement aux anciens postes

1. Sources d'alimentation

Les postes de distribution sont alimentés à partir des sous-stations avec en général des lignes de 10,5kV, 6,5kV ou 30kV.

Ainsi la distribution est réalisée avec des lignes haute tension et déverse en général l'intérieur des villes ou les zones périurbaines.

2. Les matériels électriques d'un poste de distribution

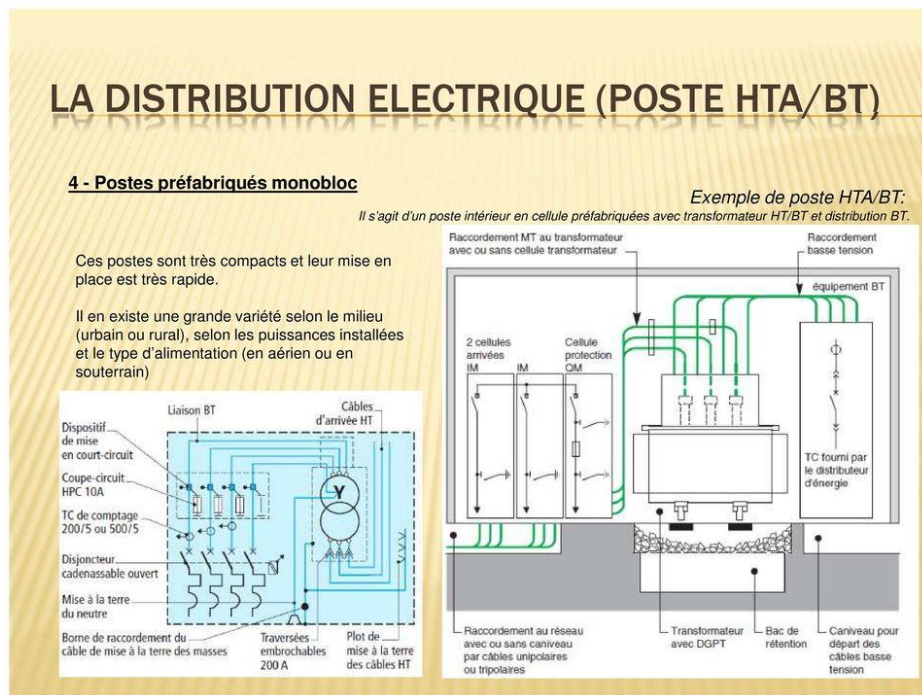


Figure II-2.1) : un poste de distribution électrique

Après l'aménagement du bâtiment d'hébergement, un poste de distribution est constitué :

- Des cellules d'entrée raccordant au réseau
- D'une cellule particulière de mise à la terre
- D'un transformateur triphasé calibré à la charge globale de la zone
- De la mise à la terre de l'environnement du transformateur
- Des auxiliaires de comptage
- Des auxiliaires de protection : relais multifonction, disjoncteurs rapides
- Un parafoudre pour lutter contre la foudre
- Etc

Du poste de distribution, en souterrain ou en aérien, vont partir les lignes de distribution alimentant les quartiers ; ces lignes si elles sont aériennes sont supportées par des poteaux généralement en bois de hauteur 13m en moyenne et espacées de 45 à 50m.

Les lignes de distribution si elles sont souterraines doivent être passées sous des caniveaux ou des fourreaux pour protéger des câbles ou les conducteurs contre les micro-organismes à l'intérieur du sol. On notera que les lignes de distribution aériennes ont les conducteurs protégés

des supports par le biais d'isolateurs en porcelaine ou en verre blanc ; considérant que la tension n'est pas forte pour d'autres modèles d'isolateurs ou des chaînes d'isolateurs.

Le schéma ci-dessous illustre les connexions électriques dans un poste de distribution

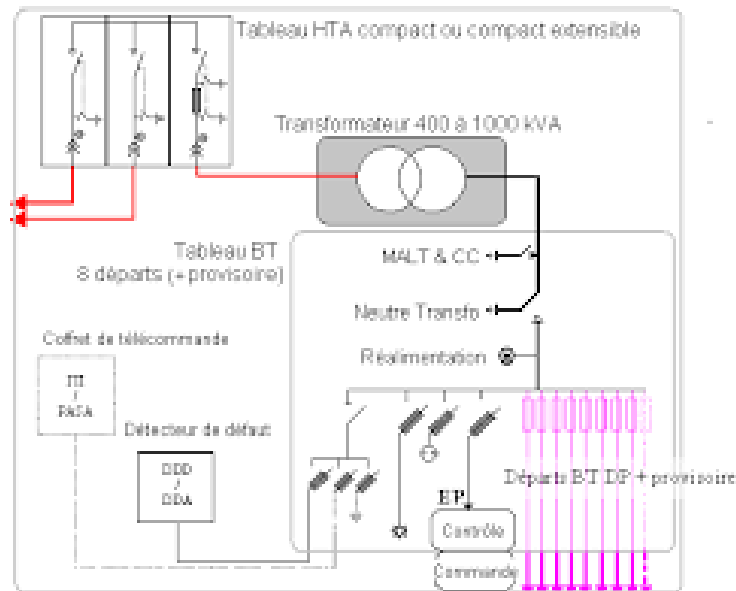


Figure II-2.2) : Connexions électriques dans un poste de distribution

III. Les différents schémas de connexion des distributeurs

On distingue différents types de schémas de drainage des lignes de distribution :

- Le système radial :

Dans ce système, le bus de distribution provenant d'une sous-station unique, alimente les distributeurs à partir d'un seul bout

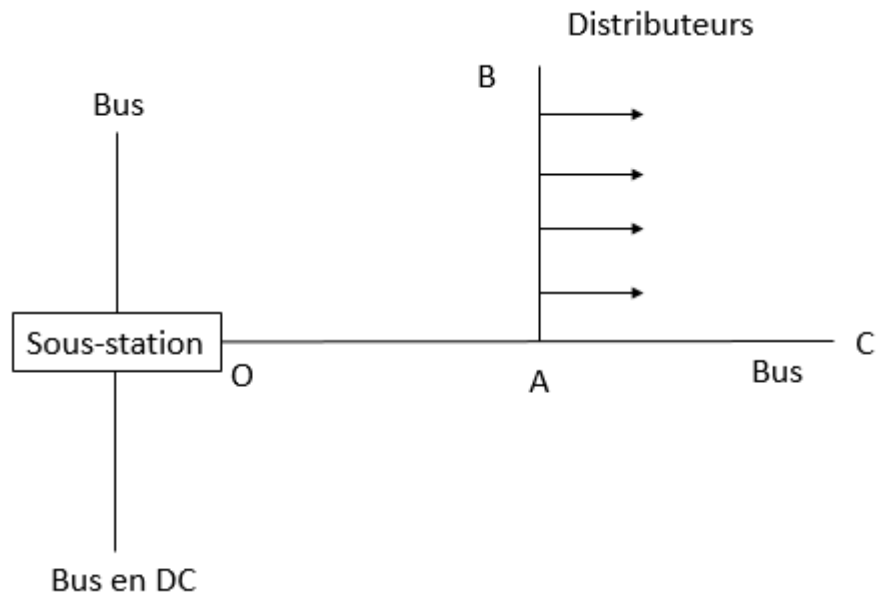


Figure III-1) : Schéma radial d'un distributeur DC

Sur le schéma, le bus OC alimente un distributeur AB à partir du point A.

Cette méthode est utilisée si la puissance est obtenue à partir d'une tension faible.

- Le système radial en AC

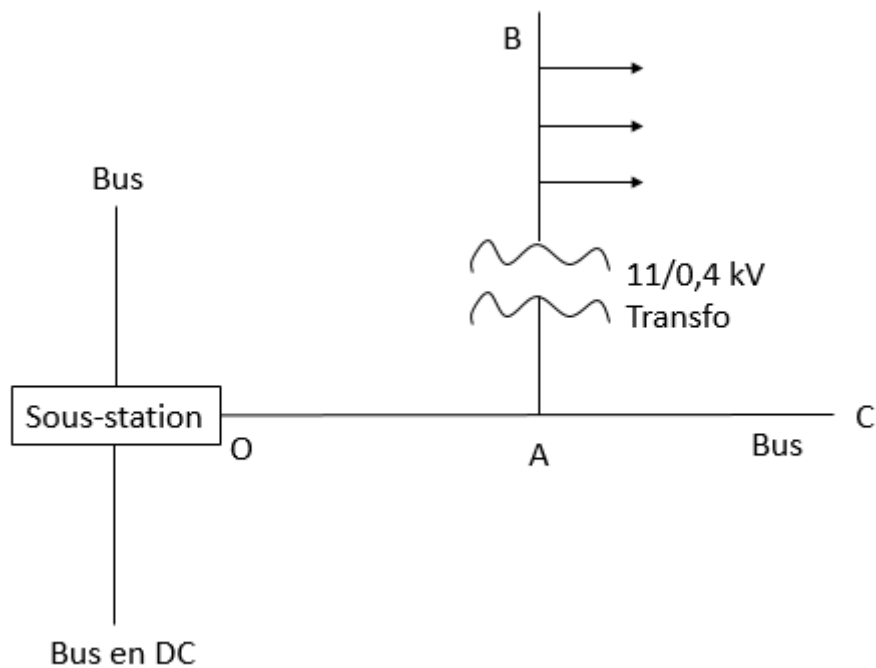


Figure III-1.2: Schéma radial d'un distributeur AC

Pour ce système, le point le plus proche est lourdement chargé.

Les consommateurs dépendent d'un seul bus et d'un seul distributeur.

Les consommateurs situés loin du point d'alimentation sont soumis à des fluctuations de tension

- Le système interconnecté

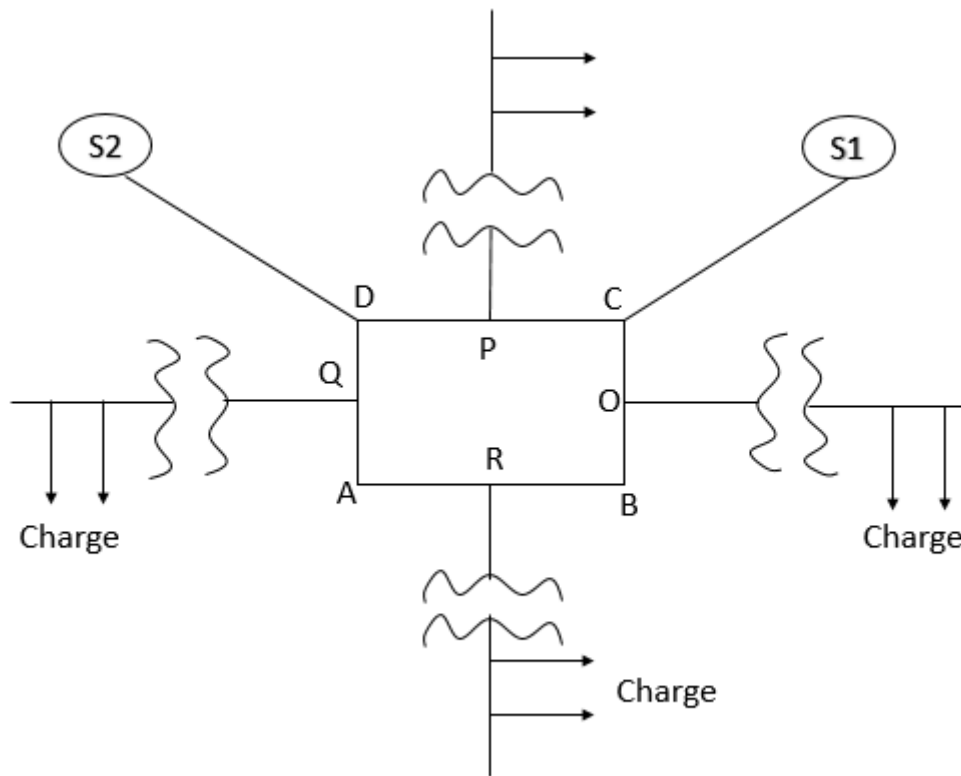
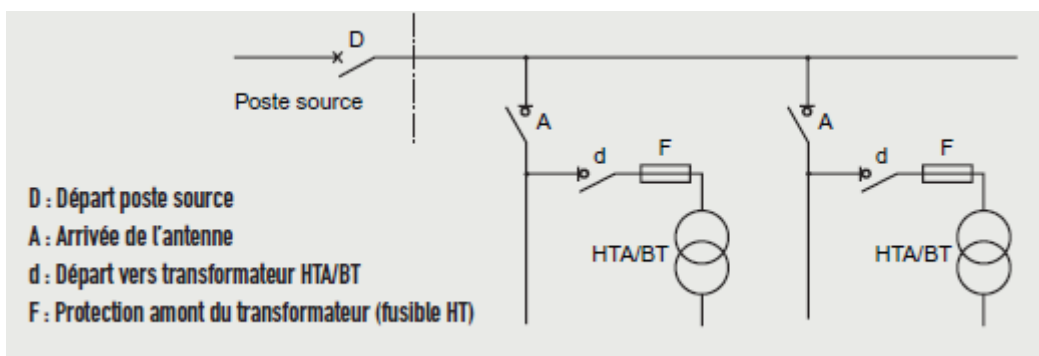


Figure III-1.3: Schéma d'un système interconnecté de distributeur

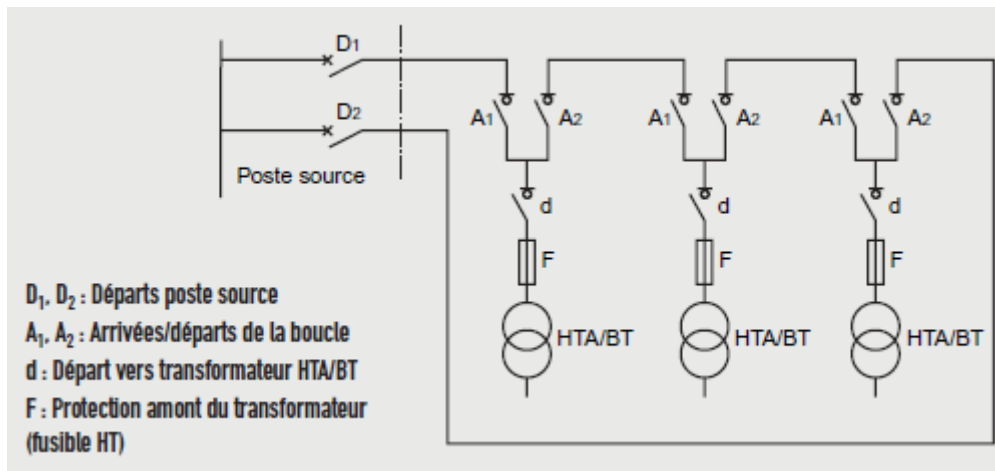
La bague ABCD est alimentée par deux stations (S₁ et S₂). Les distributeurs sont connectés aux points QORP.

On notera l'utilisation de quelques modalités de distribution :

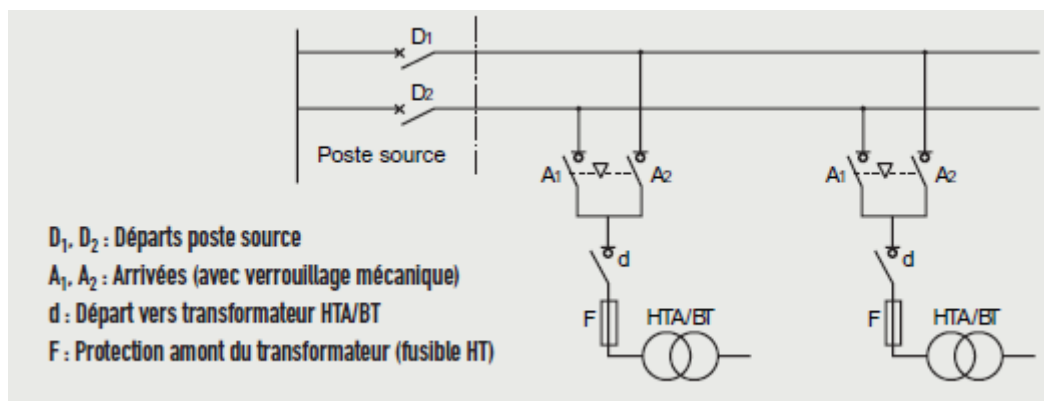
- Schéma de distribution en antenne : Il est principalement utilisé dans les zones rurales, en réseau aérien. En cas de défaut sur un tronçon de câble ou dans un poste, les utilisateurs sont privés d'alimentation le temps de la réparation



- Schéma de distribution en boucle (coupure d'arête) : Il est utilisé en zone urbaine ou en site industriel étendu et à l'avantage de limiter le temps de non-alimentation des utilisateurs situés sur la boucle. En cas de défaut sur un tronçon de câble ou dans un poste, on isole le tronçon en défaut par l'ouverture des 2 appareils qui l'encadrent et on réalimente la boucle en refermant le disjoncteur. Le défaut se localise visuellement par un indicateur lumineux installé à l'extérieur du poste de transformation



- Schéma de distribution en double dérivation (ou double antenne) : Il est utilisé pour assurer une continuité de service optimale. En cas de défaut sur l'une des lignes, l'alimentation de l'abonné est permutée sur la seconde



IV. Les distributeurs

1. Les distributeurs DC

L'électricité peut être produite aussi en courant continu. L'inconvénient majeur de la production en courant continu est la plus ou moins faible tension et les niveaux de puissance limités ; c'est pourquoi la distribution en courant continu a aussi des sphères limitées.

On notera en courant continu plusieurs types distributeurs :

- Les distributeurs alimentés par un bout
- Les distributeurs alimentés par deux bouts
- Les distributeurs alimentés par le centre
- Les distributeurs à bague

1.1) Les distributeurs alimentés par un bout

Dans ce type d'alimentation, le distributeur est connecté par un bout et les charges sont connectées en différents points tout le long du distributeur

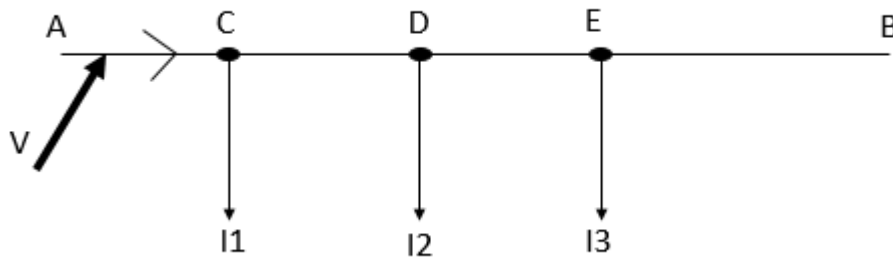


Figure IV-1.1) : Schéma d'un distributeur alimenté par un bout

Analysant les distributeurs on note :

- Que les courants dans les différentes sections du distributeur sont croissants
- La tension à travers les charges est décroissante jusqu'à atteindre une valeur minimale
- En cas de défaut tout le distributeur est déconnecté

1.2) Les distributeurs alimentés par deux bouts

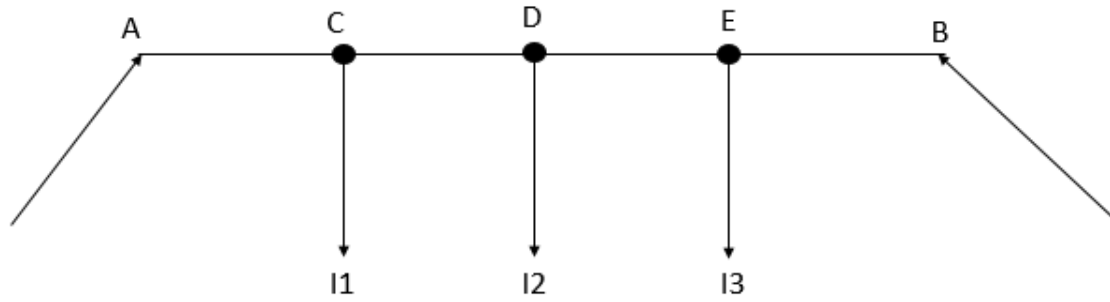


Figure IV-1.2) : Schéma d'un distributeur alimenté par deux bouts

Dans ce type de distributeur, l'alimentation arrive par deux bouts. Les tensions des deux bouts peuvent être égales ou différentes.

En cas de défaut, le distributeur peut ne pas être déconnecté.

1.3) Distributeur alimenté par son centre

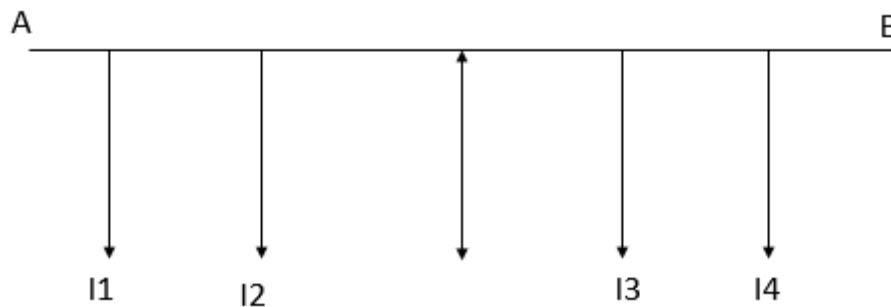


Figure IV-1.3) : Schéma d'un distributeur alimenté par son centre

C'est l'équivalent de deux distributeurs simples avec un point d'alimentation commun.

1.4) Distributeur en bague

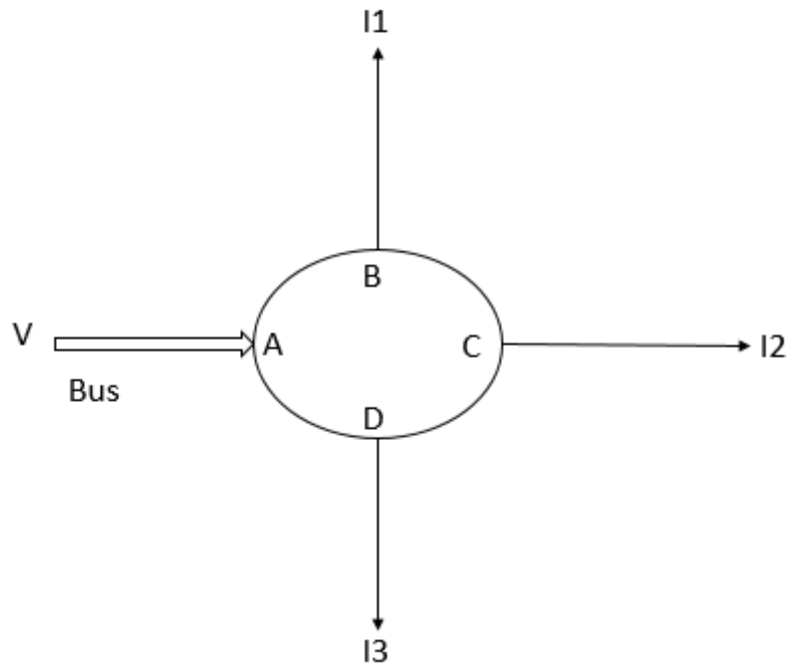


Figure IV-1.4) : Schéma d'un distributeur en bague

C'est l'équivalent d'un distributeur alimenté par ses deux bouts.

1.5) Distributeur alimenté par un bout avec charge concentrée

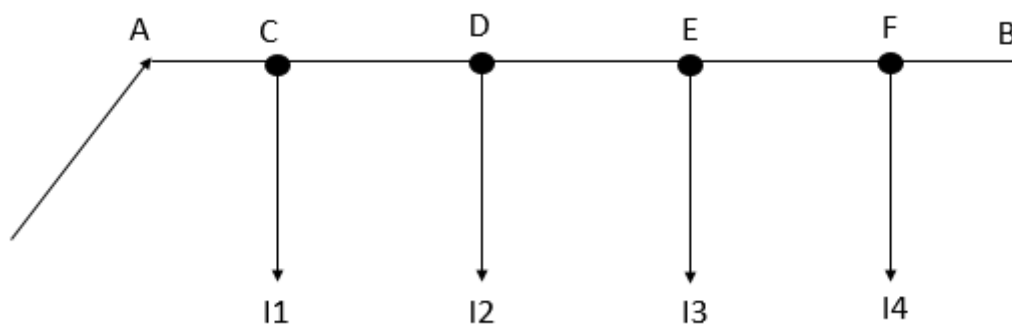


Figure IV-1.5) : Schéma d'un distributeur alimenté par un bout avec charge concentrée

Pour un tel schéma le courant en A, noté I_A est égale à $I_1 + I_2 + I_3 + I_4$. Les résistances des sections AC, CD, DE et EF sont respectivement R_1 , R_2 , R_3 et R_4 .

L'intensité I_{AC} est égale à l'intensité I_A .

L'intensité I_{CD} est égale à $I_2 + I_3 + I_4$.

L'intensité I_{DE} est égale à $I_3 + I_4$.

L'intensité I_{EF} est égale à I_4

Les résistances R_1 , R_2 , R_3 et R_4 produisent les chutes de tension ci-après :

- Section AC : $\Delta U_{AC} = r_1 (I_1 + I_2 + I_3 + I_4)$ 1)
- Section CD : $\Delta U_{CD} = r_2 (I_2 + I_3 + I_4)$ 2)
- Section DE : $\Delta U_{DE} = r_3 (I_3 + I_4)$ 3)
- Section EF : $\Delta U_{EF} = r_4 . I_4$ 4)

La chute de tension totale entre A et B : $\Delta U_{AB} = \Delta U_{AC} + \Delta U_{CD} + \Delta U_{DE} + \Delta U_{EF}$

1.6) Exercices d'application

Exercice1 :

Un distributeur AB est alimenté à partir de ses deux bouts. Au point A, la tension est maintenue à 235V et au point B à 236V. La longueur totale de la veine (bus) est de 200m et les charges sont connectées comme suit :

- 20A à 50m à partir de A
- 40A à 75m à partir de A
- 25A à 100m à partir de A
- 30A à 150m à partir de A

La résistance par 1000m de conducteur est de $0,4\Omega$.

Calculer :

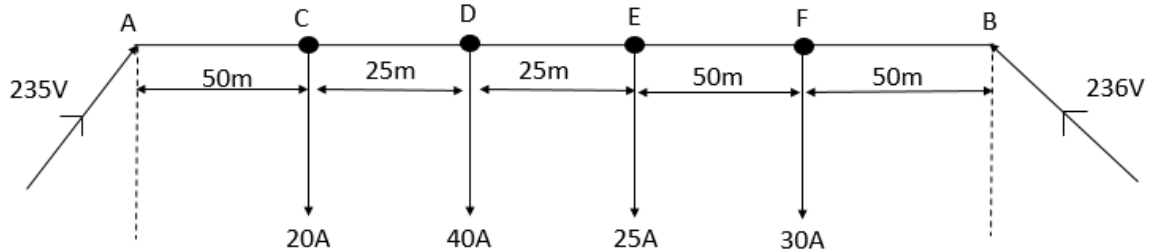
1. Les courants dans les différentes sections
2. La tension minimale
3. A quel point de connexion l'observe-t-on ?

NB :

- Le courant des points A et B est égal au courant sur le distributeur
 $I_A + I_B = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5$
- Calcul des courants dans les sections AC, CD, DE, EF, FG, GB

$I_A ; (I_A - I_1) ; (I_A - I_1 - I_2) ; (I_A - I_1 - I_2 - I_3) ; (I_A - I_1 - I_2 - I_3 - I_4) ; (I_A - I_1 - I_2 - I_3 - I_4 - I_5)$

Solution



1. Calculer les courants

- Calculons les différentes tensions

$$R_{AC} = \frac{50 \cdot 0,4}{1000} \cdot 2 = 0,4 \Omega$$

On sait que $AC = EF = FB \rightarrow R_{AC} = R_{FB} = R_{EF} = 0,4 \Omega$

$$R_{CD} = \frac{25 \cdot 0,4}{1000} \cdot 2 = 0,2 \Omega$$

$$R_{CD} = R_{DE}$$

- Calculons les courants dans les différentes sections

- $I_A ; (I_A - 20) ; (I_A - 20 - 40) ; (I_A - 20 - 40 - 25) ; (I_A - 20 - 40 - 25 - 30)$
- Les tensions

$$V_B = V_A - I_A \cdot R_{AC} - I_{CD} \cdot R_{CD} - I_{DE} \cdot R_{DE} - I_{EF} \cdot R_{EF} - I_{FB} \cdot R_{FB}$$

$$V_B = V_A - 0,4 \cdot I_A - 0,2(I_A - 20) - 0,2(I_A - 60) - 0,4(I_A - 85) - 0,4(I_A - 115)$$

$$V_B = V_A - 0,16I_A + 9,6$$

On sait que $V_B = 236V$ et $V_A = 235V$

$$\rightarrow 236 = 235 - 0,16I_A + 9,6 \rightarrow 236 = 244,6 - 0,16I_A \rightarrow$$

$$I_A = \frac{244,6 - 236}{0,16} = 53,75A$$

- $I_A = I_{AC} = 53,75A$
- $I_{CD} = I_A - 20 = 33,75A$

- $I_{DE} = I_A - 60 = -6,25A$
- $I_{EF} = I_A - 85 = -31,25A$
- $I_{FB} = I_A - 115 = -61,25A$

2. Calcul des tensions minimales

$$\Delta U_{AC} = V_A - I_A \cdot R_{AC} = 235 - 53,75 \cdot 0,04 = 232,85V$$

$$\Delta U_{CD} = V_C - I_{CD} \cdot R_{CD} = 232,85 - 0,02 \cdot 33,75 = 232,175V$$

Calculons V_E

$$V_E = V_D - I_{DE} \cdot R_{DE} = 232,175 + 0,02 \cdot 6,25 = 232,3V$$

$$V_F = V_E - I_{EF} \cdot R_{EF} = 232,3 + 0,04 \cdot 31,25 = 233,55V$$

D'où la tension minimale est 232,175V

3. Point de tension minimale

On l'observe lorsque la valeur de l'intensité change de signe et ceci on le remarque pour une valeur correspondante au point de connexion D.

Exercice 2 :

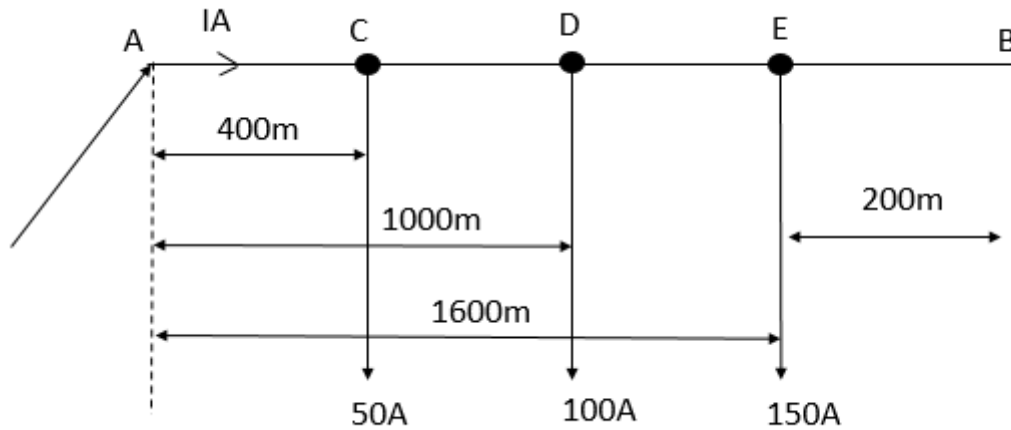
Le câble d'un distributeur AB est long de 1,8km et alimente les charges suivantes : 50A, 100A, 150A situées respectivement aux distances suivantes du point A : 400m, 1000m, 1600m.

Chaque conducteur a une résistance de $0,05\Omega$ par 1000m.

1. Réaliser le schéma du distributeur
2. Calculer la D.D.P. à chaque point

NB : Une D.D.P. de 400V est maintenue au point A

Solution



$$R = \frac{r}{1000} = 0,05\Omega$$

- Calculons d'abord la résistance des différentes sections

$$R_{AC} = \frac{400 \cdot 0,05}{1000} \cdot 2 = 0,04\Omega$$

La distance CD étant $1000 - 400 = 600\text{m}$

$$\text{On a : } R_{CD} = \frac{600 \cdot 0,05}{1000} \cdot 2 = 0,06\Omega$$

$$R_{DE} = \frac{600 \cdot 0,05}{1000} \cdot 2 = 0,06\Omega$$

$$R_{EB} = \frac{200 \cdot 0,05}{1000} \cdot 2 = 0,02\Omega$$

- Courant I_A partant du point A

$$I_A = I_1 + I_2 + I_3 = 50 + 100 + 150 = 300\text{A}$$

$$I_A = I_{AC}$$

$$I_{CD} = I_A - 50 = 250\text{A}$$

$$I_{DE} = I_A - 150 = 150\text{A}$$

$$I_{EB} = I_A - 300 = 0$$

- Calculons la d.d.p. aux différents points

$$\Delta U_{AC} = V_A - I_{AC} \cdot R_{AC} = 400 - 300 \cdot 0,04 = 388\text{V}$$

$$\Delta U_{CD} = V_C - I_{CD} \cdot R_{CD} = 388 - 250 \cdot 0,06 = 373\text{V}$$

$$\Delta U_{DE} = V_D - I_{DE}.R_{DE} = 373 - 150 \cdot 0,06 = 364V$$

$$\Delta U_{EB} = V_E - I_{EB}.R_{EB} = 364 - 0 \cdot 0,02 = 364V$$

Exercice 3 :

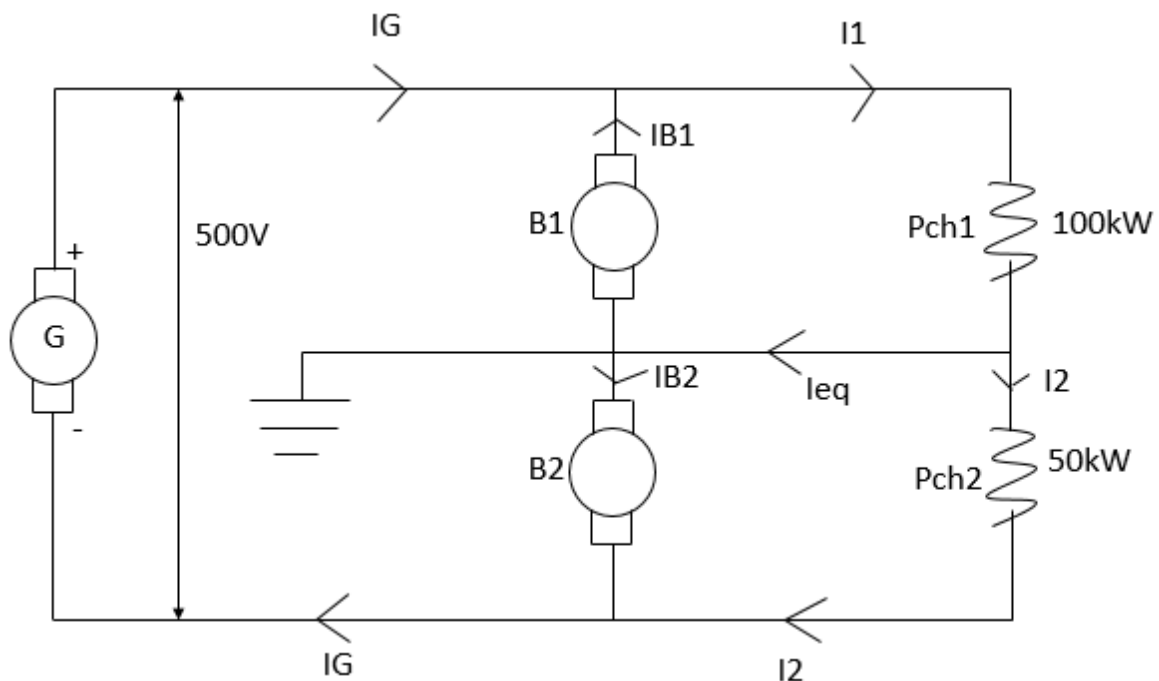
Un système à courant continu de 3 conducteurs avec 500V entre le conducteur (+) et le conducteur (-), alimente une charge constituée d'un système d'éclairage de 100kW sur la borne (+) et une charge de 50kW connecté sur la borne (-).

Si sur chaque machine équilibratrice on a des pertes de 2,5kW par machine ; calculer la puissance en kW de chaque équilibreur ainsi que la charge totale du système

Solution

Considérons G le générateur d'alimentation, B₁ le 1^{er} équilibreur et B₂ le 2^e équilibreur

Soit le schéma ci-après :



- Puissance totale consommée : P_t représente la somme de la puissance connectée à la borne (+), la puissance connectée à la borne (-) + la somme des pertes : $P_t = P_{ch1} + P_{ch2} + 2\Delta P = 100 + 50 + 2 \cdot 2,5 = 155kW$

- L'intensité à travers le générateur $I_G = P_t/U = 155.10^3/500 = 310A$
- L'intensité à travers l'équilibre 1 $I_{B1} = P_{ch1}/U_1 = 100.10^3/250 = 400A$
- L'intensité à travers l'équilibre 2 $I_{B2} = P_{ch2}/U_2 = 50.10^3/250 = 200A$
- L'intensité équivalente $I_{eq} = I_{B1} - I_{B2} = 400 - 200 = 200A$

NB : l'équilibre 1 étant plus chargé, fonctionne en générateur et l'équilibre 2 fonctionne en moteur.

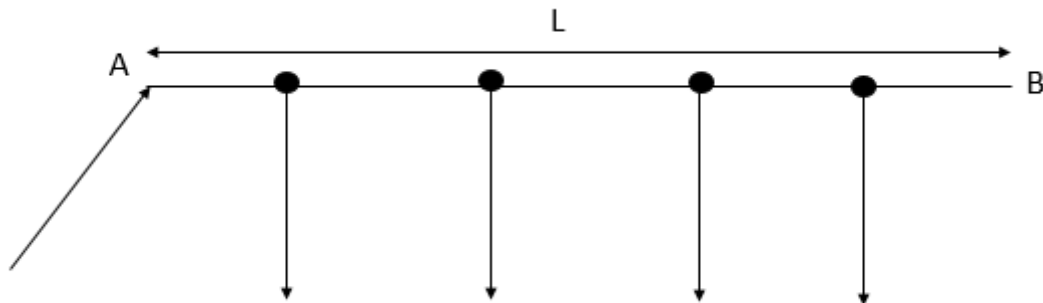
Cela nous permet d'écrire que l'intensité d'équilibre au niveau de l'équilibre 1

$$I_{B1,eq} = I_{B1} - I_G = 400 - 310 = 90A$$

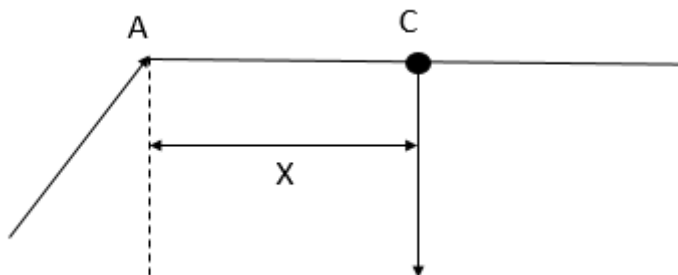
$$I_{B2,eq} = I_{B2} - I_{B1,eq} = 200 - 90 = 110A$$

- Puissance de chaque équilibre :
 - ❖ Equilibre 1 : $P_{B1} = U_1 * I_{B1,eq} = 250 * 90 = 22,5kW$
 - ❖ Equilibre 2 : $P_{B2} = U_2 * I_{B2,eq} = 250 * 110 = 27,5kW$

Exercice 4 : Distributeur DC avec charge uniformément répartie



Considérons une section de très petite longueur : A-C



Soit A-C une petite distance X

La résistance de cette portion est $r \cdot dx$

La chute de tension est donnée par la relation suivante :

$$dv = i(l - x)r \cdot dx = i \cdot r(l - x)dx$$

$$v = \int i \cdot r(l - x)dx = i \cdot r \left(lx - \frac{x^2}{2} \right)$$

Ainsi la chute de tension pour cette portion sera $\boxed{dv = irlx - \frac{1}{2}irx^2}$

Si on considère une situation donnée $i \cdot l$ correspond à I et $r \cdot l = R$

Exemple : deux conducteurs d'un distributeur à courant continu long de 200m et uniformément chargé pour 2A/m.

La résistance d'un conducteur est de $0,3\Omega/\text{km}$. Si ce distributeur par alimenté par un bout, calculer :

1. La chute de tension à un point situé à 150m
2. La chute de tension maximale

Solution

1. $i = \frac{2A}{m}$, la résistance totale de la ligne $r = \frac{2 \cdot 0,3}{1000} = 0,0006\Omega$

Considérons l la longueur du distributeur, x la distance au point considéré, ce qui nous permet de déterminer la chute de tension en ce point comme suit :

$$\Delta U = ir \left(lx - \frac{x^2}{2} \right) = 2 * 0,0006 \left(200 * 150 - \frac{(150)^2}{2} \right)$$

$$\boxed{\Delta U = 22,5V}$$

2. La chute de tension maximale

$$\Delta U_{max} = \frac{1}{2}(i * l)(r * l) = \frac{1}{2}RI$$

$$I = i * l = 2 * 200 = 400V ; R = r * l = 0,0006 * 200 = 0,12\Omega$$

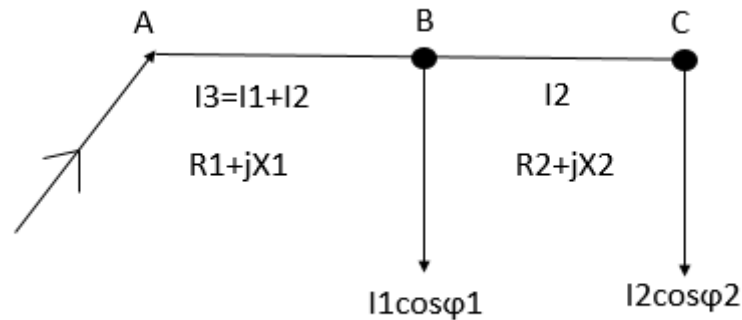
$$\Delta U_{max} = \frac{1}{2}RI = \frac{1}{2} * 0,12 * 400 = 24V$$

$$\boxed{\Delta U_{max} = 24V}$$

2. Les distributeurs AC

En courant alternatif, le calcul des chutes de tensions ne se limitent pas à celles du aux résistances mais aussi à celles du à l'effet de L et C ; on notera en plus qu'en courant alternatif, l'intensité globale est une somme géométrique tandis qu'en courant continu, elle est une somme arithmétique. En outre, en courant alternatif, les calculs tiennent compte du facteur de puissance à l'arrivée et au départ de la ligne

2.1) Distributeur AC avec charge concentré avec facteur de puissance référé à l'arrivée



- Le courant de charge au point B est égal $\underline{I}_1 = I_1(\cos\varphi_1 - j\sin\varphi_1)$
- Le courant de charge au point C est égal $\underline{I}_2 = I_2(\cos\varphi_2 - j\sin\varphi_2)$
- L'impédance de la section AB est $\underline{Z}_1 = R_1 + jx_1$ tandis que celle de la section BC sera $\underline{Z}_2 = R_2 + jx_2$
- Enfin le courant en début de ligne sera $\underline{I}_3 = \underline{I}_1 + \underline{I}_2$
 $\underline{I}_3 = I_1(\cos\varphi_1 - j\sin\varphi_1) + I_2(\cos\varphi_2 - j\sin\varphi_2).$
 La chute de tension dans la section BC est $I_2.Z_2 = I_1(\cos\varphi_1 - j\sin\varphi_1).\underline{Z}_2$

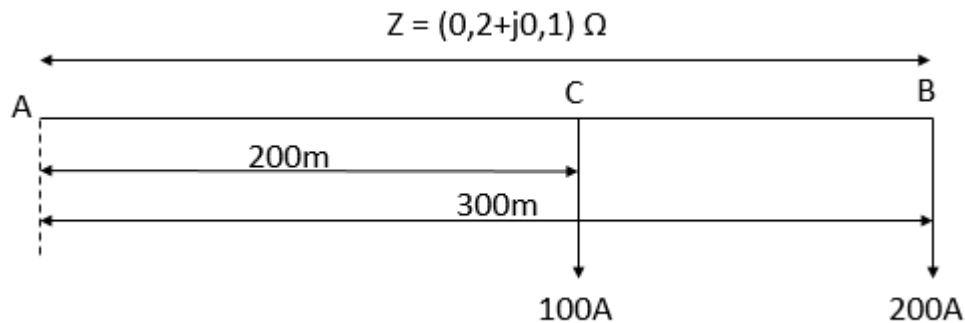
2.2) Exercice d'application

Exercice 1 :

Un distributeur en courant alternatif long de 300m est alimenté par son bout A.

- A 200m de A est connectée une charge de 100A avec un $\cos\varphi$ de 0,707 en retard de phase.
- A 300m de A est connectée une charge de 200A avec un $\cos\varphi$ de 0,8 en retard de phase.
- La résistance du distributeur est de $0,2\Omega/\text{km}$ tandis que sa réactance est de $0,1\Omega/\text{km}$

Calculer la chute de tension sur le distributeur, le facteur de puissance étant référé à la tension à l'arrivée de la ligne



$$\underline{Z_{AC}} = \frac{(0,2+j0,1)*100}{1000} = (0,04 + j0,02)\Omega$$

$$\underline{Z_{CB}} = \frac{(0,2+j0,1)*200}{1000} = (0,02 + j0,01)\Omega$$

En prenant comme référence V_B on peut calculer le courant de charge en ce point :

$$\underline{I_2} = I_2(\cos\varphi_2 - j\sin\varphi_2) = 200(0,8 - j0,6)$$

$$\underline{I_2} = (160 - j120)A$$

$$\underline{I_1} = I_1(\cos\varphi_1 - j\sin\varphi_1) = 100(0,707 - j0,707)$$

$$\underline{I_1} = (70,7 - j70,7)A$$

$$\underline{I_{CB}} = \underline{I_2} = (160 - j120)A$$

$$\underline{I_{AC}} = \underline{I_1} + \underline{I_2} = 160 - 120j + 70,7 - 70,7j$$

$$\underline{I_{AC}} = (230,7 - j190,7)A$$

$$\underline{V_{CB}} = \underline{I_{CB}} \cdot \underline{Z_{CB}} = (160 - 120j)(0,02 + 0,01j)$$

$$\underline{V_{CB}} = (4,4 - j0,8)A$$

$$\underline{V_{AC}} = \underline{I_{AC}} \cdot \underline{Z_{AC}} = (230,7 - 190,7j)(0,04 + 0,02j)$$

$$\underline{V_{AC}} = (13,04 - j3,01)A$$

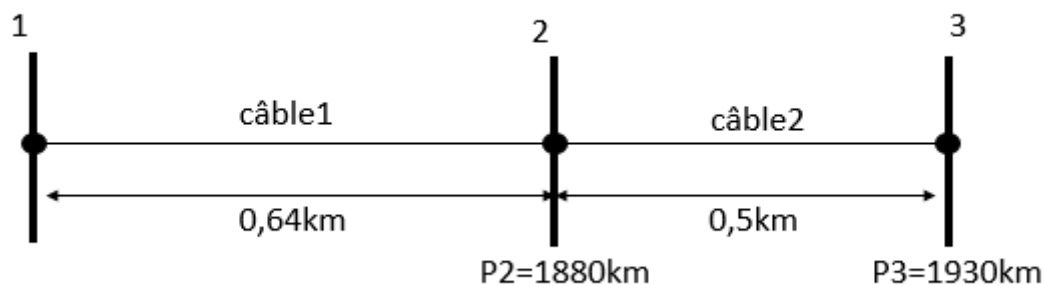
$$\underline{V_{AB}} = \underline{V_{AC}} + \underline{V_{CB}} = 4,4 - j0,8 + 13,04 - j3,01 = (17,44 - j3,81)V$$

$$\Delta U_{AB} = \sqrt{17,44^2 + 3,81^2}$$

$$\Delta U_{AB} = 17,85V$$

Exercice 2 :

Soit un distributeur



On donne Câble1 : $r_0 = 0,326\Omega/\text{km}$; $x_0 = 0,083\Omega/\text{km}$ et Câble2 : $r_0 = 0,62\Omega/\text{km}$; $x_0 = 0,09\Omega/\text{km}$

La tension nominale du réseau est de 10kV.

Déterminer les pertes maximales du réseau

Solution

$$r_{1,2} = 0,5 * 0,326 * 0,64 = 0,104 \Omega$$

$$x_{1,2} = 0,5 * 0,083 * 0,64 = 0,027 \Omega$$

$$r_{2,3} = 0,5 * 0,62 * 0,5 = 0,155 \Omega$$

$$x_{2,3} = 0,5 * 0,09 * 0,5 = 0,022 \Omega$$

$$P_{1,2} = P_2 + P_3 = 1880 + 1930 = 3810 \text{ kW}$$

$$P_{2,3} = P_3 = 1930 \text{ kW}$$

$$Q_{1,2} = P_{1,2} \cdot \tan \varphi = 3810 * 0,292 = 1113 \text{ kVAR}$$

$$Q_{2,3} = P_{2,3} \cdot \tan \varphi = 1930 * 0,292 = 564 \text{ kVAR}$$

- Pertes de tension

$$\begin{aligned} \Delta U_{1,2} &= \frac{(P_2 + P_3) \cdot r_{1,2} + (Q_{1,2} + Q_{2,3}) \cdot x_{1,2}}{U_n} \\ &= \frac{(1880 + 1930) \cdot 0,104 + (1113 + 564) \cdot 0,027}{10000} \end{aligned}$$

$$\boxed{\Delta U_{1,2} = 44,2 \text{ V}}$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{2,3} &= \frac{P_3 \cdot r_{2,3} + Q_{2,3} \cdot x_{2,3}}{U_n} \\ &= \frac{1930 \cdot 0,155 + 564 \cdot 0,022}{10000} \end{aligned}$$

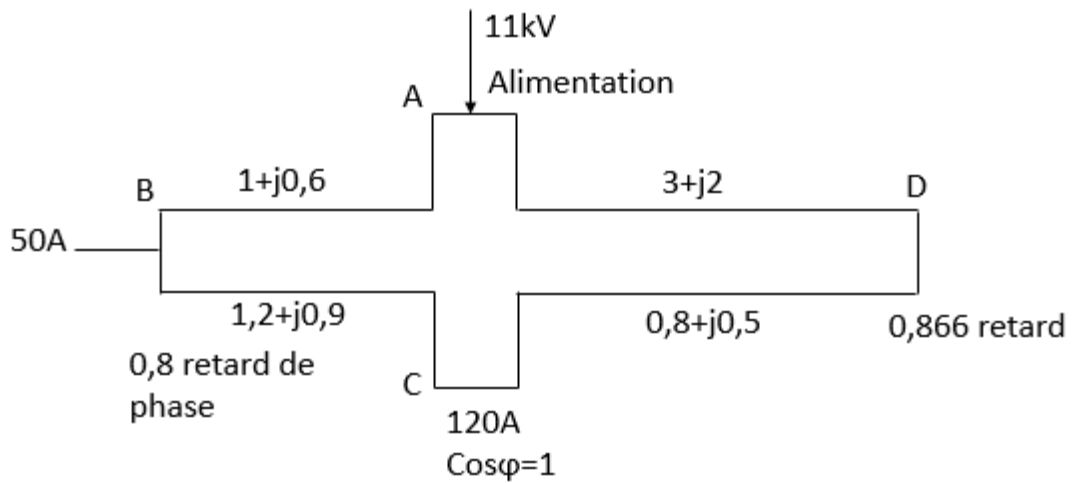
$$\boxed{\Delta U_{2,3} = 31,2 \text{ V}}$$

- La chute de tension maximale

$$\Delta U_{\max} = \Delta U_{1,2} + \Delta U_{2,3} = 31,2 + 44,2 = 75,4 \text{ V}$$

$$\Delta U_{\max} = \frac{75,4}{10} * 100 = 0,75\%$$

Exercice 3 :



Un distributeur triphasé ABCD est alimenté sous 11kV avec les charges équilibrées de 50A avec un $\cos\phi$ de 0,8 en retard de phase du point B ; 120A et $\cos\phi=1$ au point C et 70A avec un $\cos\phi$ de 0,866 en retard de phase au point D. Les courants sont référés au point d'alimentation A. Les impédances des différentes sections sont représentées sur le schéma.

Calculer des différents courants dans les différentes sections et la tension sur le jeu de barre B, C et D.

Solution

Soit $(x + iy)$ le courant dans la section AB

- Calcul du courant dans la section BC

$$\underline{I}_{BC} = (x + iy) - 50(0,8 - j0,6) = (x - 40) + j(y + 30)$$

- Calcul du courant dans la section CD

$$\underline{I}_{CD} = [(x - 40) + j(y + 30)] - (120 + j0)$$

$$\underline{I}_{CD} = (x - 160) + j(y + 30)$$

- Calcul du courant dans la section DA

$$\underline{I}_{DA} = [(x - 160) + j(y + 30)] - [70(0,866 + j0,5)]$$

$$\underline{I}_{DA} = (x - 220,6) + j(y + 65)$$

- Calcul de la chute de tension dans la section AB

$$\underline{V}_{AB} = \underline{I}_{AB} \cdot \underline{Z}_{AB} \quad 1)$$

- Calcul de la chute de tension dans la section BC

$$\underline{V}_{BC} = \underline{I}_{BC} \cdot \underline{Z}_{BC} \quad 2)$$

- Calcul de la chute de tension dans la section CD

$$\underline{V}_{CD} = \underline{I}_{CD} \cdot \underline{Z}_{CD} \quad 3)$$

- Calcul de la chute de tension dans la section DA

$$\underline{V}_{DA} = \underline{I}_{DA} \cdot \underline{Z}_{DA} \quad 4)$$

En appliquant la loi de Kirchhoff des tensions à la maille ABCDA nous avons :

$$\sum_{i=1}^n V_i = 0 \rightarrow 1) + 2) + 3) + 4)$$

$$\sum \Delta U = 0 \rightarrow (6x - 4y - 1009,8) + j(4x + 6y - 302,2) = 0$$

$$\begin{cases} 6x - 4y - 1009,8 = 0 & 5) \rightarrow \boxed{x = 139,7} \\ 4x + 6y - 302,2 = 0 & 6) \rightarrow \boxed{y = -42,8} \end{cases}$$

$$\underline{I}_{AB} = (139,7 - j42,8)A$$

$$\underline{I}_{BC} = (99,7 - j12,8)A$$

$$\underline{I}_{CD} = (-20,30 - j12,8)A$$

- Tension sur le jeu de barre B, C et D

$$U = 11kV \rightarrow V_A = \frac{11}{\sqrt{3}} = 6,351kV/phase$$

$$\underline{V}_B = \underline{V}_A - \underline{I}_{AB} \cdot \underline{Z}_{AB} = (6185,62 - j41,02) V/phase$$

$$\underline{V}_C = \underline{V}_B - \underline{I}_{BC} \cdot \underline{Z}_{BC} = (6054,46 - j115,39) V/phase$$

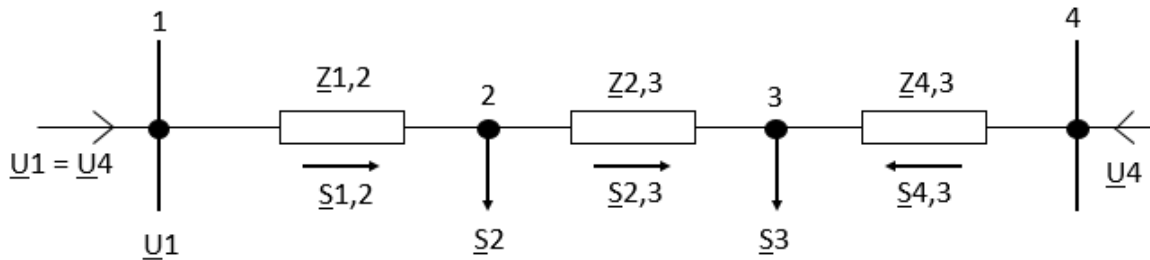
$$\underline{V}_D = \underline{V}_C - \underline{I}_{CD} \cdot \underline{Z}_{CD} = (6064,3 - j95) V/phase$$

2.3) Distribution des puissances dans de simples réseaux fermés, sans prise en compte des pertes de puissance

Considérons un tel réseau comme étant une ligne alimentée par les deux extrémités : les tensions de ces deux extrémités sont égales.

On a les impédances ou résistances des sections qui peuvent être exprimées par \underline{Z}_{kj} , où k représente la partie initiale de la ligne et j la partie finale de la ligne

- ❖ Posons $\underline{I}_{kj} = \underline{S}_{kj}/\sqrt{3} \cdot U_n$
- ❖ A la suite de l'égalité des tensions aux extrémités d'après la 2^e règle de Kirchhoff, on a avec le schéma ci-après :



$$\frac{\underline{S}_{1,2}^*}{\sqrt{3}U_n} \underline{Z}_{1,2} + \frac{\underline{S}_{2,3}^*}{\sqrt{3}U_n} \underline{Z}_{2,3} - \frac{\underline{S}_{4,3}^*}{\sqrt{3}U_n} \underline{Z}_{4,3} = 0$$

Si nous remplaçons $\underline{S}_{1,2}^*$, $\underline{S}_{2,3}^*$ et $\underline{S}_{4,3}^*$ par leur valeur conjuguée, nous avons :

$$\frac{\underline{S}_{1,2}}{\sqrt{3}U_n} \underline{Z}_{1,2}^* + \frac{\underline{S}_{2,3}}{\sqrt{3}U_n} \underline{Z}_{2,3}^* - \frac{\underline{S}_{4,3}}{\sqrt{3}U_n} \underline{Z}_{4,3}^* = 0$$

D'après la 1^{ère} règle de Kirkhoof, nous avons pour les sections 2 et 3, $\underline{S}_{2,3} = \underline{S}_{1,2} - \underline{S}_2$ et

$$\underline{S}_{4,3} = \underline{S}_5 - \underline{S}_{2,3} = -\underline{S}_{1,2} + \underline{S}_2 + \underline{S}_3.$$

Les équations permettent d'écrire :

$$\frac{\underline{S}_{1,2}}{U_n} \underline{Z}_{1,2}^* + \frac{\underline{S}_{1,2} - \underline{S}_2}{U_n} \underline{Z}_{2,3}^* - \frac{\underline{S}_{1,2} - \underline{S}_2 + \underline{S}_3}{U_n} \underline{Z}_{3,4}^* = 0$$

D'où la puissance apparente $\underline{S}_{1,2}$

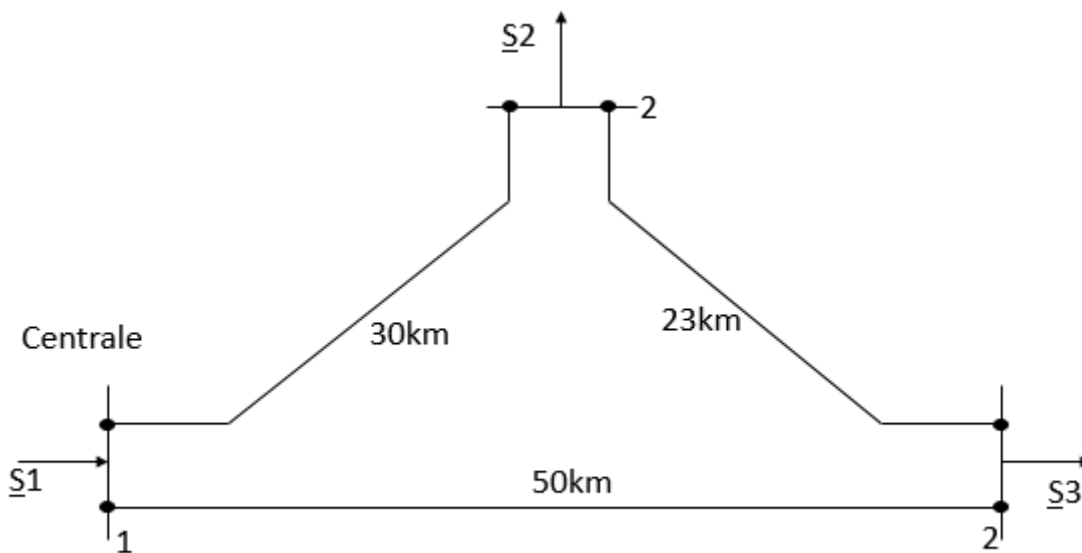
$$\underline{S}_{1,2} = \frac{\underline{S}_2(\underline{Z}_{2,3}^* + \underline{Z}_{3,4}^*) + \underline{S}_3 \cdot \underline{Z}_{3,4}^*}{\underline{Z}_{1,2}^* + \underline{Z}_{2,3}^* + \underline{Z}_{3,4}^*} = \frac{\underline{S}_2 \cdot \underline{Z}_{2,4}^* + \underline{S}_3 \cdot \underline{Z}_{3,4}^*}{\underline{Z}_{1,4}^*} = \frac{\sum_{k=2}^3 \underline{S}_k \cdot \underline{Z}_{k,4}^*}{\underline{Z}_{1,4}^*}; \text{ où } \underline{Z}_{2,4}^* = \underline{Z}_{2,3}^* + \underline{Z}_{3,4}^*$$

Analogiquement, on trouve $\underline{S}_{4,3}$

$$\underline{S}_{4,3} = \frac{\sum_{k=2}^3 \underline{S}_k \cdot \underline{Z}_{1,k}^*}{\underline{Z}_{1,4}^*}; \text{ où } \underline{Z}_{1,3}^* = \underline{Z}_{1,2}^* + \underline{Z}_{2,3}^*$$

Application 1

Soit le réseau ci-après



Le schéma représente une centrale 1 et des sous-stations 2 et 3.

Le réseau est de 110V.

On a $\underline{S}_2 = 36,18 + j29,17$ MVA ; $\underline{S}_3 = 39,2 + j32,89$ MVA

Les conducteurs de ces longues lignes ont pour résistances :

$\underline{Z}_{1,2} = 3,6 + j12,15 \Omega$; $\underline{Z}_{2,3} = 9,84 + j10,21 \Omega$ et $\underline{Z}_{3,4} = 8,1 + j20,65 \Omega$.

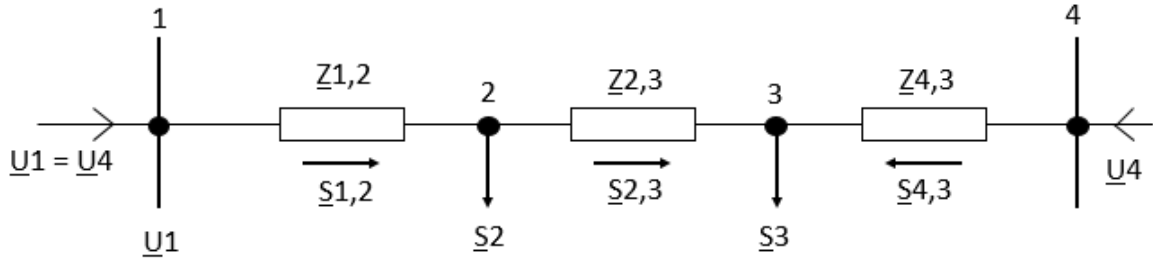
La tension de départ est de 117,7kV

Déterminer la puissance de départ.

Solution

La résolution se fera sans tenir compte des pertes de puissance.

On peut établir un schéma équivalent suivant :



$$\underline{S}_{1,2} = \frac{\underline{S}_2 \cdot \underline{Z}_{2,4}^* + \underline{S}_3 \cdot \underline{Z}_{3,4}^*}{\underline{Z}_{1,4}^*}; \quad \underline{Z}_{1,4}^* = \underline{Z}_{1,2}^* + \underline{Z}_{2,3}^* + \underline{Z}_{3,4}^*$$

$$\underline{S}_{1,2} = \frac{(36,18 + j29,17)(9,84 - j10,21 + 8,1 - j20,65) + (39,2 + j32,89)(8,1 - j20,65)}{3,6 - j12,15 + 9,84 - j10,21 + 8,1 - j20,65}$$

$$\boxed{\underline{S}_{1,2} = 44,82 + j36,75 \text{ MVA}}$$

$$\underline{S}_{4,3} = \frac{\sum_{k=2}^3 \underline{S}_k \cdot \underline{Z}_{1,k}^*}{\underline{Z}_{1,4}^*}$$

$$\underline{S}_{1,2} = \frac{(39,2 + j32,89)(9,84 - j10,21 + 3,6 - j12,15) + (36,18 + j29,17)(3,6 - j12,15)}{3,6 - j12,15 + 9,84 - j10,21 + 8,1 - j20,65}$$

$$\boxed{\underline{S}_{4,3} = 30,56 + j25,31 \text{ MVA}}$$

- Pour la section 2,3, on a la puissance ci-après :

La 1^{ère} règle de Kirkhoof pour le nœud 2 donne :

$$\underline{S}_{2,3} = \underline{S}_{1,2} - \underline{S}_2 = 44,82 + j36,75 - (36,18 + j29,17)$$

$$\boxed{\underline{S}_{2,3} = 8,64 + j7,58 \text{ MVA}}$$

- La puissance de départ \underline{S}_1

$$\underline{S}_1 = \underline{S}_{1,2} + \underline{S}_{4,3}$$

$$\underline{S}_1 = 75,38 + j62,06 \text{ MVA}$$

On peut généraliser en considérant que pour une ligne à n nœuds, on a :

$$\underline{S}_{1,2} = \frac{\sum_{k=2}^{n-1} \underline{S}_k \cdot \underline{Z}_{k,n}^*}{\underline{Z}_{1,n}^*}$$

$$\underline{S}_{n,n-1} = \frac{\sum_{k=2}^{n-1} \underline{S}_k \cdot \underline{Z}_{1,k}^*}{\underline{Z}_{1,n}^*}$$

- Si on a les intensités de charge I_k , on peut déterminer les courants des sections :

$$\underline{I}_{1,2} = \frac{\sum_{k=2}^{n-1} \underline{I}_k \cdot \underline{Z}_{k,n}^*}{\underline{Z}_{1,n}^*}$$

$$\underline{I}_{n,n-1} = \frac{\sum_{k=2}^{n-1} \underline{I}_k \cdot \underline{Z}_{1,k}^*}{\underline{Z}_{1,n}^*}$$

- On peut exprimer $\underline{S}_{1,2}$ autrement :

$$\underline{S}_{1,2} = P_{1,2} + jQ_{1,2} = \frac{\sum_{k=2}^{n-1} P_k \cdot r_{1,k}}{r_{1,n}} + j \frac{\sum_{k=2}^{n-1} Q_k \cdot r_{1,k}}{r_{1,n}}$$

Si les sections sont les mêmes tout le long de la ligne, alors on peut écrire :

$$\underline{S}_{1,2} = \frac{\sum_{k=2}^{n-1} \underline{S}_k \cdot \underline{I}_{k,n}^*}{\underline{I}_{1,n}^*}$$

$$\underline{S}_{n,n-1} = \frac{\sum_{k=2}^{n-1} \underline{S}_k \cdot \underline{I}_{1,k}^*}{\underline{I}_{1,n}^*}$$

- ❖ Si l'étude porte sur une ligne constituée d'un côté d'une grande tension et d'un autre d'une tension inférieure, alors vont apparaître une intensité d'équilibrage et une tension d'équilibrage :

$$I_{eq} = \frac{U_1 - U_n}{\sqrt{3} \underline{Z}_{1,4}}$$

$$\underline{S}_{eq} = \sqrt{3} \underline{I}_{eq}^* U_n = \frac{\underline{U}_1^* - \underline{U}_n^*}{\underline{Z}_{1,4}} U_n$$

Ensuite en sommant $\underline{S}_{1,2}$, $\underline{S}_{4,3}$ et \underline{S}_{eq} , on obtient les puissances des deux côtés :

$$\underline{S}_{1,2} = \frac{\sum_{k=2}^3 \underline{S}_k \cdot \underline{Z}_{k,4}^*}{\underline{Z}_{1,4}^*} + \underline{S}_{eq}$$

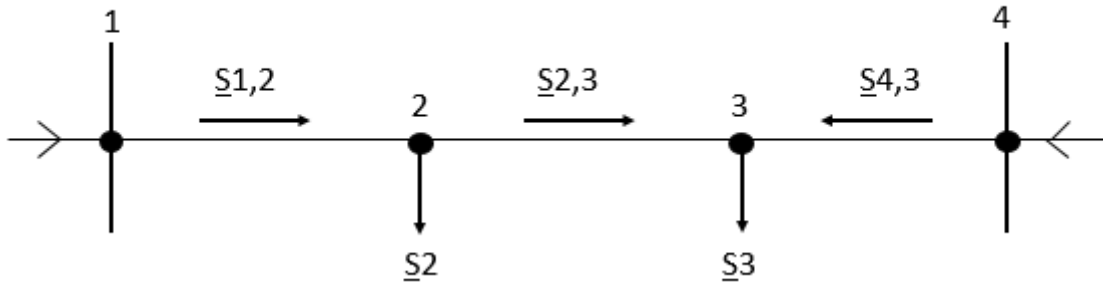
$$\underline{S}_{4,3} = \frac{\sum_{k=2}^3 \underline{S}_k \cdot \underline{Z}_{1,k}^*}{\underline{Z}_{1,4}^*} - \underline{S}_{eq}$$

Le calcul des pertes de puissances peuvent s'exprimer comme suit :

$$\sum \Delta \underline{S}_{kj} = \sum 3 \underline{I}_{k,j}^2 \cdot \underline{Z}_{k,j} = \sum \frac{\underline{S}_{k,j}^2}{U_n^2} \underline{Z}_{k,j}$$

2.4) Distribution des puissances avec prise en compte des pertes de puissance

Soit le schéma ci-après :



- Pour les secteurs 2,3, $\Delta P_{2,3} = \frac{(S_{2,3})^2}{U_n^2} \cdot r_{2,3}$ représente les pertes de puissance active. ($S_{2,3}$ puissance à l'arrivée)
- Pour la même section, les pertes de puissance réactive sont : $\Delta Q_{2,3} = \frac{(S_{2,3})^2}{U_n^2} \cdot x_{2,3}$
- Les pertes par rapport à la puissance apparente : $\Delta \underline{S}_{2,3} = \Delta P_{2,3} + j \Delta Q_{2,3}$
- Ce qui donne la puissance apparente de départ ci-après : $\underline{S}_{2,3}^d = \underline{S}_{2,3}^a + \Delta \underline{S}_{2,3}$
- En subdivisant, un distributeur circulaire en deux lignes ouvertes, on a :

$$\Delta P_{3,2} = \frac{P_{3,2}^2 + Q_{3,2}^2}{U_n^2} \cdot r_{3,2}$$

$$\Delta Q_{3,2} = \frac{P_{3,2}^2 + Q_{3,2}^2}{U_n^2} \cdot x_{3,2}$$

- A partir de là, si on considère qu'au point 2 est branché une charge :

$\underline{S}_2^d = P_2^d + jQ_2^d = j(Q_{1,2} + Q_{2,3} + \Delta Q_{3,2})$; et qu'au point S aussi est branché une charge :

$\underline{S}_3^d = P_3^d + jQ_3^d = P_{4,3} + P_{3,2} + \Delta P_{3,2} + jQ_{4,3}$.

V. Compensation de la puissance réactive et amélioration du facteur de puissance (cosφ)

La production de l'énergie électrique dans les centrales, de biens et services dans les entreprises, de consommation de biens et services dans les ménages, induisent toujours une production de puissance réactive.

Ainsi quelle problématique pose la compensation de la puissance réactive ?

Qu'elles sont les outils auxquels elle fait appel ?

Quel résultat vise-t-elle ?

1. Problématique de la compensation de la puissance réactive

Dans un circuit électrique quelconque, ou une installation électrique globale, la puissance apparente est une somme vectorielle de puissances :

- Une puissance active dont l'intérêt est de la rendre toujours plus importante dans le lot,
- Une puissance réactive inductive qui grève la valeur du facteur de puissance et qui est le fait des bobines des machines électriques (surtout asynchrones) dans les installations industrielles

La puissance réactive créée par les machines électriques chauffe l'installation et provoque une augmentation de l'intensité du courant électrique.

Ces dysfonctionnements dans l'installation vont créer une instabilité de tension, de puissance et de facteur de puissance.

La problématique de la compensation de la puissance réactive sera donc de réduire les pertes de puissance et de tension pour stabiliser ces dernières ; pertes de puissance et de tension qu'on peut exprimer comme suit :

- Pertes de puissance :

$$\Delta P_l = \frac{P_{ch}^2 + (Q_{ch} - Q_c)^2}{U_{nom}^2} \cdot r_l$$

- Pertes de tension :

$$\Delta U_l = \frac{P_{ch} \cdot r_l + (Q_{ch} - Q_c) \cdot x_l}{U_{nom}}$$

de limiter l'intensité du courant et de compenser la puissance inductive par une puissance capacitive afin d'augmenter la proportion de la puissance active par rapport à la puissance apparente, qu'on appelle facteur de puissance $\cos\phi$.

2. Les instruments de la compensation de puissance réactive

Comme instruments de compensation de la puissance réactive sont utilisés les compensateurs synchrones (C.S.), les batteries de condensateurs (B.C.), les réacteurs, ...

2.1) Les batteries de condensateurs

On utilise ces batteries pour :

- Générer une puissance réactive dans le circuit (compensation transversale)
- Diminuer la réactance de la ligne (compensation longitudinale)

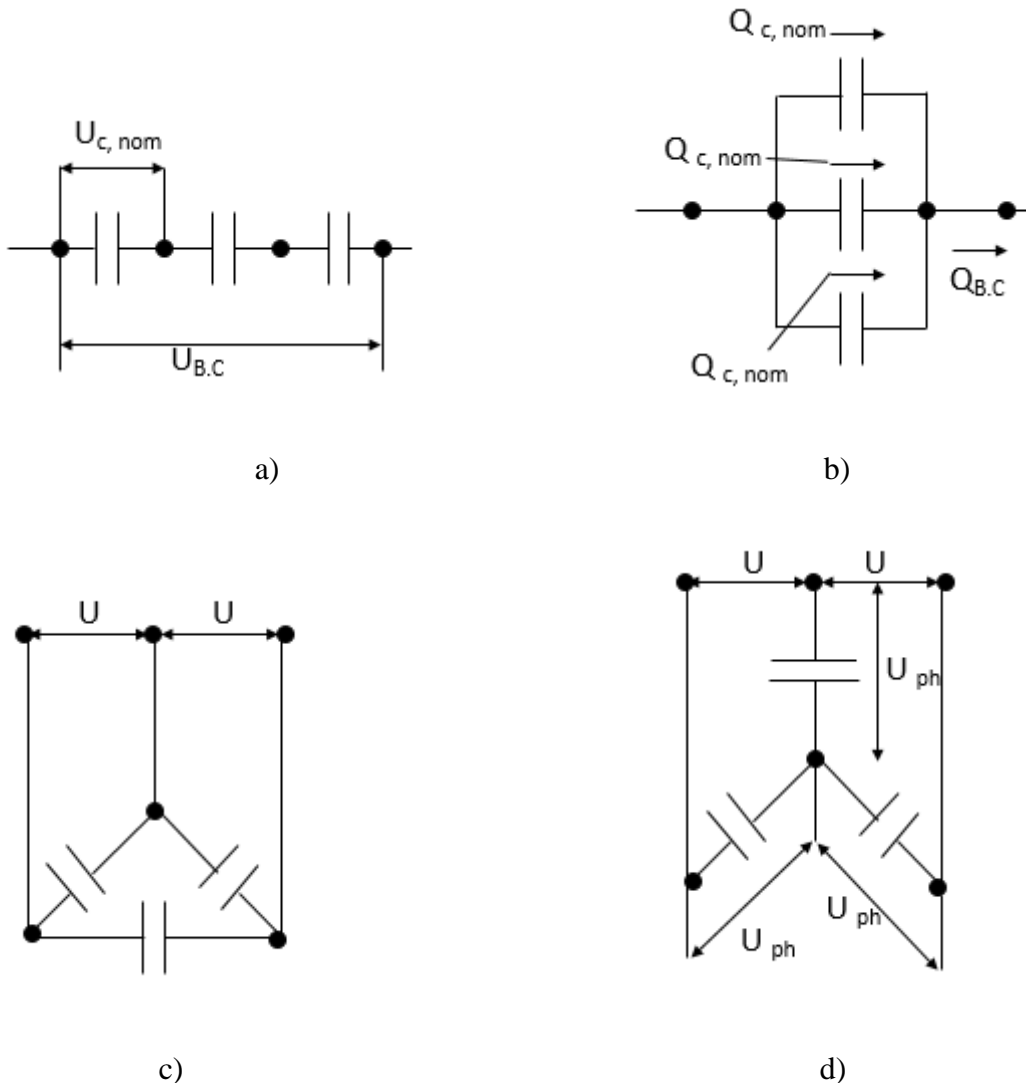
Pour le premier but, les batteries de condensateurs (B.C.) sont branchées au niveau de la centrale ou de la sous-station.

Pour le 2^e objectif, les batteries sont branchées en série avec la ligne.

Pour constituer ces batteries, les condensateurs sont couplés en série ou en parallèles.

Les condensateurs sont produits en monophasé ou en triphasé avec des tensions nominales : 0,22 à 10,5kV ; et une puissance par élément de 10 à 125kVAR.

Principaux schémas de batteries de condensateurs



a) et b) couplage en série et en parallèle des condensateurs

c) et d) couplage en triangle et en étoile des phases d'une batterie de condensateurs

La compensation transversale est utilisée jusqu'à des tensions de 110kV. L'augmentation de la tension de la batterie s'obtient par l'augmentation du nombre de condensateurs en série (schéma a). si l'objectif est l'augmentation de la puissance de la batterie, on couple les condensateurs en parallèles (schéma b).

- Pour les réseaux triphasés, les condensateurs se couplent exclusivement en étoile et en triangle (schémas c et d)
 - En couplage étoile, la puissance de la batterie : $Q_c = 3U_{ph}^2 \cdot w \cdot C$
 - En couplage triangle, la puissance de la batterie : $Q_c = 3U_{ph}^2 \cdot w \cdot C = 9U_{ph}^2 \cdot w \cdot C$

(ω : pulsation du courant alternatif sinusoïdal ; C : capacité globale de la batterie de condensateur)

Ainsi sous un couplage triangle, la puissance de la batterie est de 3 fois supérieure à celle qu'on aurait obtenu en couplage étoile.

C'est pourquoi jusqu'à une tension de 1kV, les condensateurs généralement se couplent en triangle.

Dans le cas de batteries à tension de 6kV et au-dessus se couplent exclusivement en étoile avec le régime de neutre de circuit correspondant.

Dans ces condensateurs comme diélectrique est utilisé du papier spécial imbibé dans de l'huile minérale électrotechnique.

Comme éléments complémentaires (sécurité et protection des condensateurs), on utilise des résistances de décharge (jusqu'à 1kV) des condensateurs et des fusibles pour leur protection ; à la place des résistances, on peut aussi utiliser un transformateur de tension (réseau de 6 à 10kV).

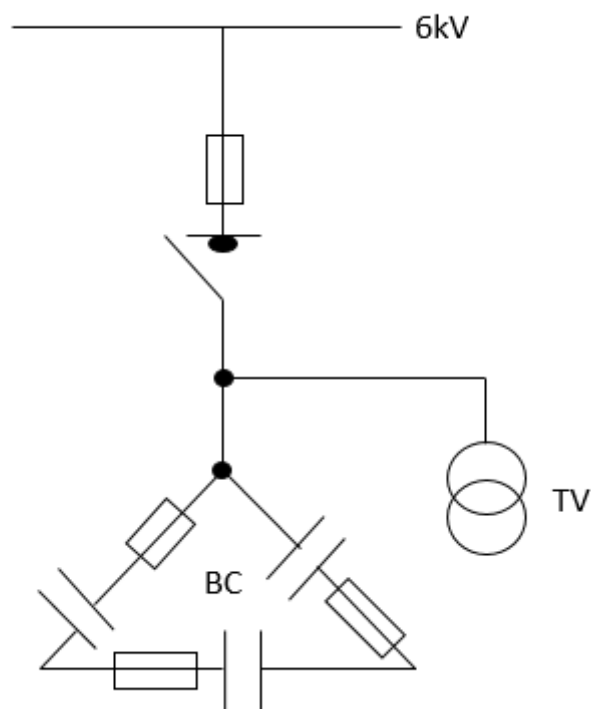
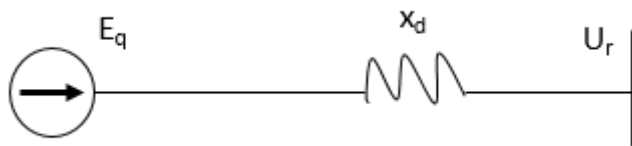


Figure 5.2-1 : Schéma de connexion en triangle de batterie de condensateur avec protection

2.2) Les compensateurs synchrones (C.S.)

Les compensateurs sont des moteurs synchrones, travaillant en régime à vide (sans charge à leur arbre). Négligeant les pertes de puissance à vide, leur consommation de puissance active $P \approx 0$; leur intensité est essentiellement réactive.

Comparés aux moteurs synchrones ordinaires, ils sont de dimensions plus réduites et de moindre masse.



U_r : tension du réseau au point de branchement

E_q : f.e.m. inverse de compensation

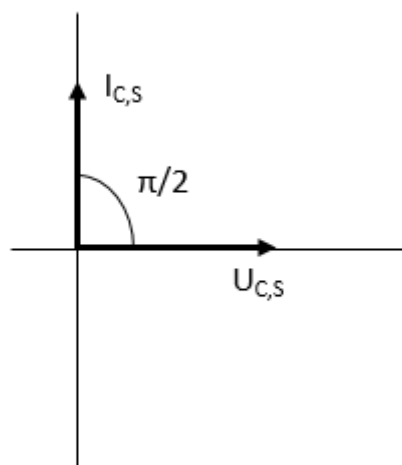
x_d : réactance inductive du réseau

$$I_{C.S} = \frac{U_r - E_q}{\sqrt{3}x_d}$$

Considérons $P_{C.S} = 0$, nous avons :

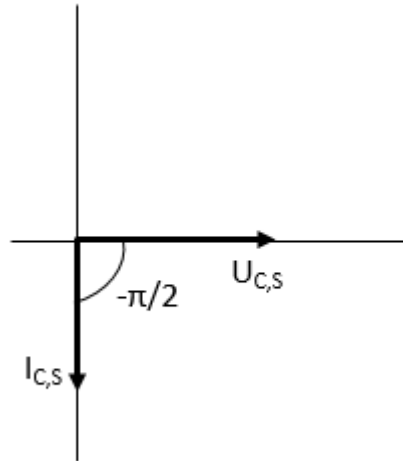
$$Q_{C.S} = S_{C.S} = \sqrt{3}U_r \cdot I_{C.S} = U_r \frac{U_r - E_q}{x_d}$$

Pour que le C.S. génère dans le circuit une puissance réactive suffisante de compensation, $E_q > U_r$ et dans ce cas $I_{C.S}$ est en avance par rapport à $U_{C.S}$ de $\pi/2$.



Si $E_q = U_r$, $Q_{C.S} = 0$

Si $E_q < U_r$, $I_{C.S}$ est en retard de phase de 90° par rapport à U_r ; et dans ces conditions C.S. consomme au lieu d'en produire, une puissance réactive qu'il obtient du réseau.



2.3) Les réacteurs de Shunt

Les réacteurs peuvent servir à la régulation de la puissance réactive et de la tension. Ce sont des appareils électromagnétiques. Leur résistance active est très faible.

Les réacteurs sont généralement destinés aux réseaux très haute tension (35 à 750kV) et branchés directement sur la ligne ou à la sous-station.

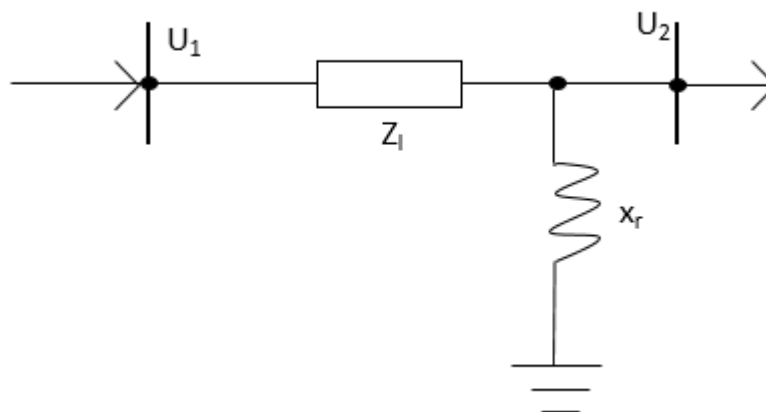


Figure 5.2-3-a) : Réacteur branché sur la ligne

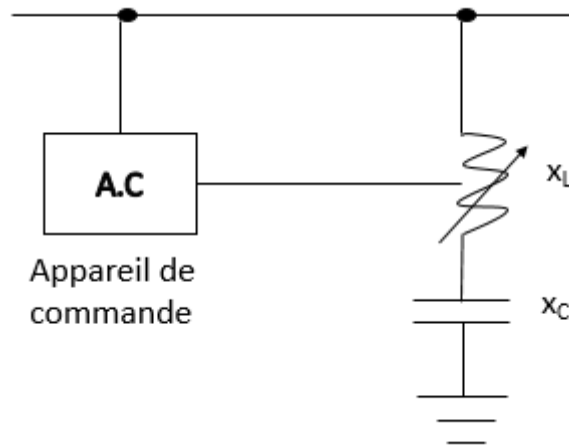


Figure 5.2-3-b) : Schéma avec en série un réacteur réglable et une batterie de condensateurs non réglable (x_C)

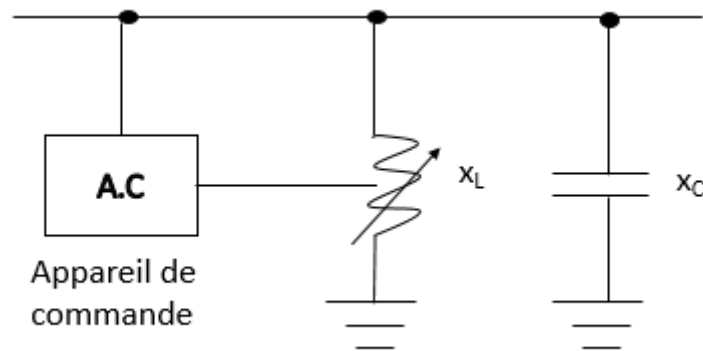


Figure 5.2-3-b) : Schéma avec en parallèle un réacteur réglable (x_L) et une batterie de condensateurs non réglable (x_C)

La puissance réactive consommable par le réacteur : $Q_r = b_r \cdot U^2$ (b_r : susceptance inductive du réacteur).

La régulation des réacteurs est basée sur le changement des paramètres du réacteur, ayant un noyau ferromagnétique. Cela dépendra de la tension et de son mode de construction.

De tels réacteurs peuvent servir de filtres et d'amortisseurs des oscillations nocives dans le réseau.

En dehors de ces réacteurs, il existe des réacteurs de mise à la terre, permettant la compensation des courants capacitifs de la terre ; et enfin les réacteurs servant à réduire les courants de court-circuit.

2.4) Exercices d'application

Exercice 1

Un moteur travaille sous une tension $U=220V$, $f=50Hz$ avec un $\cos\varphi_1=0,6$, en développement une puissance $P=20kW$.

Déterminer quelle capacité de condensateur, il faudra coupler parallèlement au moteur, pour obtenir un $\cos\varphi_2=0,9$.

Solution

- Intensité du moteur sous $\cos\varphi_1=0,6$

$$I_1 = P/(U\cos\varphi_1) = 20000/(220*0,6) = 152A$$

$\cos\varphi_1 = 0,6$ donc $\varphi_1=53^\circ 10'$ et $\sin\varphi_1=0,8$

- Composante réactive de ce courant

$$I_{r,1} = I_1.\sin\varphi_1 = 152*0,8 = 121,6A$$

- $\cos\varphi_2 = 0,9$ donc $\varphi_2=26^\circ 50'$ et $\sin\varphi_2=0,436$

- Intensité du système moteur-condensateur après couplage

$$I_2 = P/(U\cos\varphi_2) = 20000/(220*0,9) = 101A$$

- Composante réactive de ce courant

$$I_{r,2} = I_2.\sin\varphi_2 = 101*0,436 = 44A$$

Diminution du courant réactif après branchement du condensateur

- Intensité au niveau du condensateur

$$I_C = I_{r,1} - I_{r,2} = 121,6 - 44 = 77,6A$$

- Réactance de capacité du condensateur :

$$x_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{U}{I_C} = \frac{220}{77,6} = 2,83\Omega$$

- Capacité du condensateur

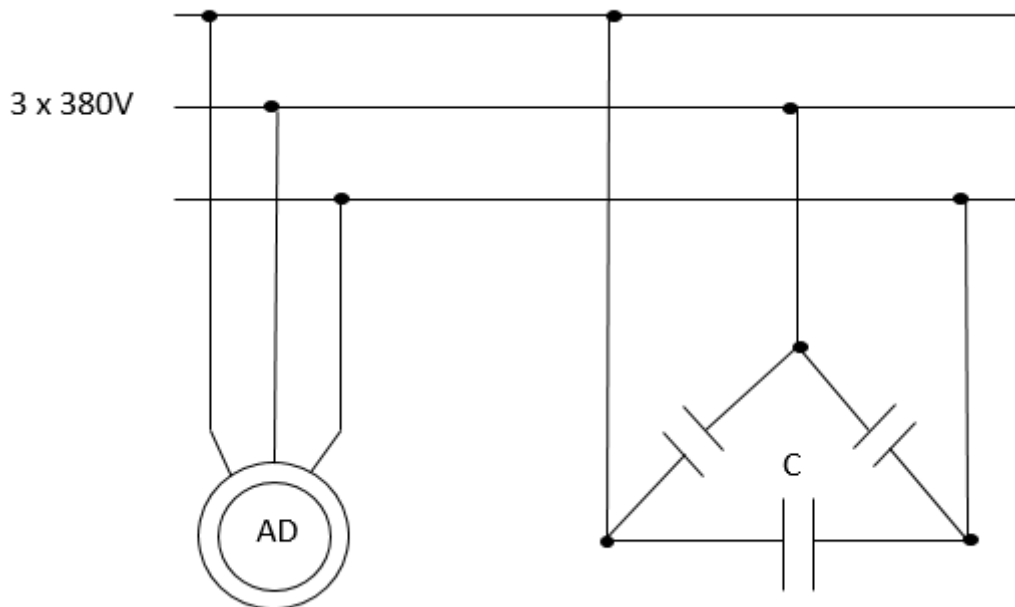
$$C = \frac{1}{x_c \cdot \omega} = \frac{1}{x_c \cdot 2\pi f} = \frac{1}{2,83 * 2\pi * 50} = 0,00113F$$

$$C = 1130\mu F$$

Exercice 2

Dans un réseau triphasé à 3 conducteurs ayant une tension composée $U=660V$ est branché un moteur asynchrone de puissance nominale : $P_{2n}=110kW$; $\cos\varphi_n=0,9$, $\eta=0,92$.

Définir le facteur de puissance de l'installation après le couplage d'une batterie de condensateurs avec une capacité $C=635\mu F$ à chaque phase, couplés en triangle ; et l'intensité du courant de la ligne.



Solution

- Puissance active consommée par le moteur sous charge maximale

$$P_{1,n} = \frac{P_{2,n}}{\eta_n} = \frac{110}{0,92} = 119,56kW$$

- Puissance réactive du moteur sous charge maximale

$$Q_{1,n} = P_{1,n} \cdot \tan\varphi_n = 119,56 \cdot 0,484 = 57,87kVAR, \text{ d'où } \tan\varphi_n = 0,484$$

- La résistance réactive des condensateurs :

$$x_c = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{10^6}{314 \cdot 635} = 5\Omega$$

- Puissance apparente du moteur sous charge nominale

$$S_n = \sqrt{P_{1,n}^2 + Q_{1,n}^2} = \sqrt{119,56^2 + 57,87^2} = 121kVA$$

- Puissance réactive des condensateurs

$$Q_c = 3 \frac{U^2}{x_c} = 3 \frac{660^2}{5} = 261,36kVAR$$

- Puissance réactive consommée par l'installation avec couplage des condensateurs

$$Q = Q_c - Q_{1,n} = 261,36 - 57,87 = 203,49kVAR$$

- Puissance apparente de l'installation avec couplage des condensateurs

$$S = \sqrt{P_{1,n}^2 + Q^2} = \sqrt{119,56^2 + 203,49^2} = 236kVA$$

- L'intensité du courant de la ligne

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{236 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 660}$$

$$\boxed{I = 206,7A}$$

- Facteur de puissance de l'installation avec couplage des condensateurs

$$\cos\varphi = \frac{P_{1,n}}{S} = \frac{119,56}{236} \quad d'où \quad \boxed{\cos\varphi = 0,59}$$

Exercice 3

Afin d'élérer le facteur de puissance et diminuer fortement la consommation de puissance réactive, il est prévu d'installer des condensateurs. La valeur moyenne du facteur de puissance notée avant l'installation des batteries de condensateurs compensateurs est $\cos\varphi_1=0,76$.

La puissance active totale du circuit est $P_t=311,14kW$. La tension d'alimentation du circuit est $U_2=380V$.

Déterminer la capacité totale C_Δ nécessaire pour des condensateurs à installer pour élérer le facteur de puissance jusqu'à $\cos\varphi_2=0,92$.

Faire le schéma de l'installation des condensateurs intégrant les résistances de décharge.

On considère que les condensateurs à utiliser ont une puissance nominale de 5kVAR et chaque condensateur a une capacité de 110μF.

Déterminer le nombre de condensateurs par phase.

Solution

- Puissance réactive avant compensation

$$Q_1 = P_t \cdot \tan \varphi_1 = 311,14 * 0,842 = 262kVAR$$

- Puissance réactive après compensation

$$Q_2 = P_t \cdot \tan \varphi_2 = 311,14 * 0,43 = 133,9 \approx 134kVAR$$

- Puissance réactive fournie par les batteries de condensateurs

$$Q_C = Q_1 - Q_2 = 262 - 134 = 128kVAR$$

- La capacité totale des condensateurs en montage triangle

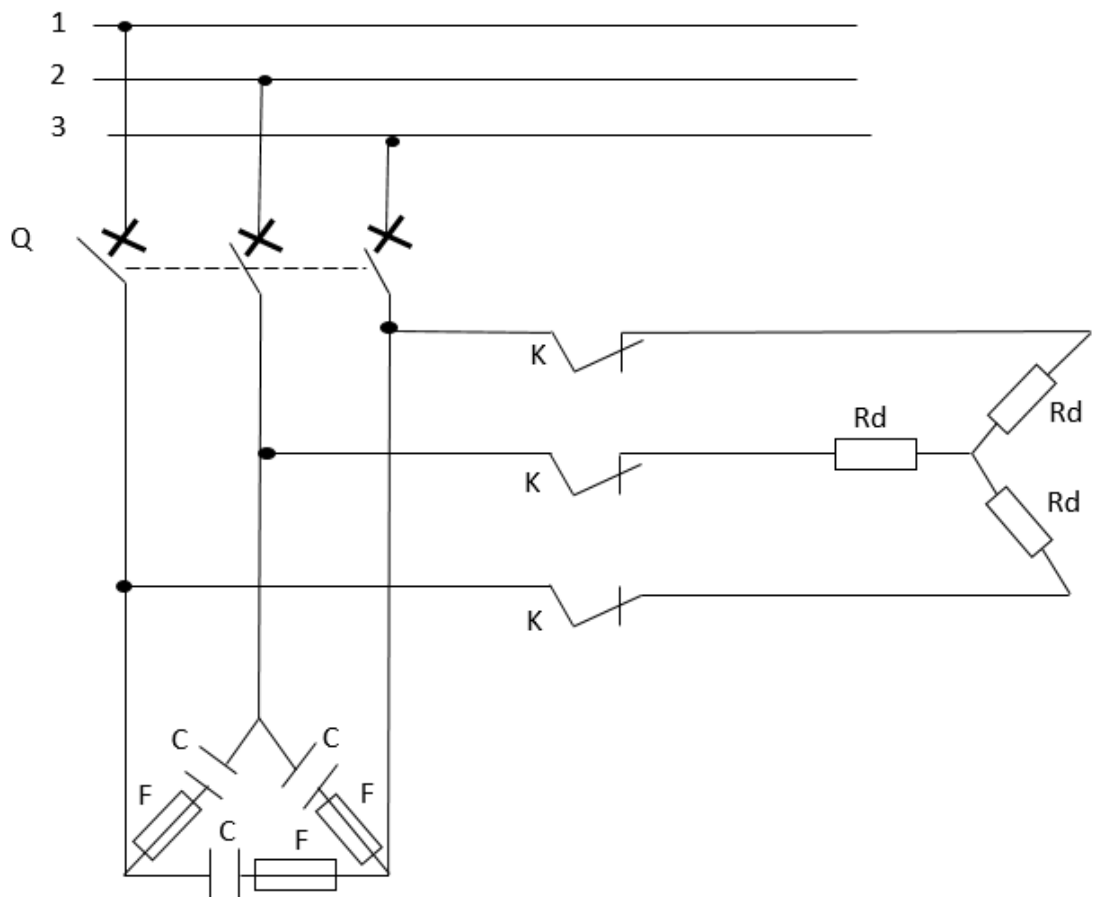
$$C_{\Delta} = \frac{Q_C \cdot 10^3}{2\pi f U^2} = \frac{128 \cdot 10^3}{2\pi * 50 * 0,38^2} \quad d'où \quad \boxed{C_{\Delta} \approx 2810\mu F}$$

- Nombre de condensateurs à installer

$$N_C = \frac{C_{\Delta}}{C_n} = \frac{2810}{110} \rightarrow \boxed{N_C = 26 \text{ condensateurs}}$$

Les condensateurs doivent être installés sur trois phases, le nombre de condensateurs doit être un multiple de 3 ; c'est pourquoi le nombre effectif à prendre en compte est **27 condensateurs**. Ceci fait 3 condensateurs par phase.

Schéma de l'installation



Légende :

Q : disjoncteur

K : commutateur

R_d : résistance de décharge

C : condensateur

F : fusible