Exercice 1

Soit un transformateur de puissance apparente S = 630 kVA; le courant à vide est négligé et la chute de tension vaut 1,3 % pour cosφ =1 et 3,5 % pour cosφ = 0,8 AR. La tension réseau au primaire est de 20 kV et la tension secondaire à vide, entre phases, est U_{S0} = 400 V.

1° - Déterminer le courant nominal I_{sn} , R_S et X_S du schéma équivalent de Kapp par phase.

2° - Une charge absorbe un courant I_S = 600 A avec un cosφ = 0,85 AR. Calculer la tension secondaire en charge U_S et I_P courant en ligne côté primaire. Déterminer le rapport des nombres de spires N_S / N_P et J_P courant d'enroulement primaire selon que le couplage est "**D y 11**" ou "**Y d 11**".

Exercice 1

1° Le courant nominal secondaire est égal par définition à :

$$I_{sn} = \frac{S_n}{U_{sn}\sqrt{3}} = \frac{630\,000}{400\sqrt{3}} = 909{,}3\ A$$

L'exploitation des données de chute de tension normalisées donne :

$$\cos\varphi = 1 : \quad \Delta V = R_S I_{sn} = 0{,}013 \times 231 \Rightarrow R_S = 3{,}3\ m\Omega$$

$$\cos\varphi = 0{,}8 : \Delta V = R_S I_{sn} 0{,}8 + X_S I_{sn} 0{,}6 = 0{,}035 \times 231 \Rightarrow X_S = 10{,}4\ m\Omega$$

Exercice 1

2° Pour I_S = 600 A et $\cos\varphi_S$ = 0,85 AR , la chute de tension s'écrit :

$$\boxed{\Delta V = R_S I_s \cos\varphi_S + X_S I_s \sin\varphi_S = 5\ V}$$

D'où la tension : $\boxed{U_S = U_{S0} - \sqrt{3}\,\Delta V = 391,4\ V}$

Le courant à vide étant négligé, on peut écrire l'égalité des puissances apparentes :

$$\boxed{U_P I_P \sqrt{3} = U_S I_S \sqrt{3} \Rightarrow I_P = \frac{400 \times 600}{20\ 000} = 12\ A}$$

Exercice 1

2° On écrit que les tensions appliquées aux bobinages sont dans le rapport des nombres de spires.

Pour un couplage « **Dy11** » :

$$\boxed{\frac{N_S}{N_P} = \frac{V_S}{U_P} = \frac{U_S}{U_P\sqrt{3}} = \frac{1}{50\sqrt{3}}}$$

Couplage triangle au primaire, donc :

$$\boxed{J_P = \frac{I_P}{\sqrt{3}} = \frac{12}{\sqrt{3}} = 6{,}9\ A}$$

Pour un couplage « **Yd11** » :

$$\boxed{\frac{N_S}{N_P} = \frac{U_S}{V_P} = \frac{U_S\sqrt{3}}{U_P} = \frac{\sqrt{3}}{50}}$$

Couplage étoile au primaire, donc :

$$\boxed{J_P = I_P = 12\ A}$$

Exercice 2

Un transformateur triphasé est connecté au primaire sur un réseau 5 500 V - 50 Hz. Couplé en Dy, il absorbe au primaire une puissance active de 240 kW et le rendement est alors de 98,2 %. Les nombres de spires sont au primaire N_P = 2100 et N_S = 50 au secondaire. Le circuit magnétique, de masse 1000 kg, est constitué de tôles de catégorie 0,6 W/kg et l'amplitude de l'induction y atteint 1,3 T.

1° - Déterminer les pertes fer et les pertes Joule pour ce point de fonctionnement. Si l'on néglige le courant à vide, calculer la composante active du courant secondaire.

2° - La charge est constituée, dans chaque phase, d'une résistance en parallèle sur une réactance de valeur double de la résistance. Calculer le courant secondaire et en déduire la valeur de la résistance R_S du schéma monophasé équivalent de Kapp.

3° - Donner la tension simple au secondaire; en déduire la chute de tension et la valeur de la réactance X_S.

Exercice 2

1° La constitution du circuit magnétique permet le calcul direct des pertes fer :

$$P_{fer} = 1000 \times 0,6 \times 1,3^2 = 1014\ W$$

Le rendement peut s'écrire : $$\eta = 1 - \frac{Pertes}{P_P} \Rightarrow Pertes = P_P\left(1-\eta\right) = 4320\ W$$

D'où par différence : $$P_J = 3306\ W$$

Exercice 2

1° La constitution du circuit magnétique permet le calcul direct des pertes fer :

$$P_{fer} = 1000 \times 0,6 \times 1,3^2 = 1014\ W$$

Le rendement peut s'écrire : $$\eta = 1 - \frac{Pertes}{P_P} \Rightarrow Pertes = P_P\left(1-\eta\right) = 4320\ W$$

D'où par différence : $$P_J = 3306\ W$$

Le courant à vide étant négligé, on en déduit, pour le courant actif secondaire, $I_S \cos\varphi_S$:

$$\left.\begin{array}{l} \varphi_S = \varphi_P \\ N_S I_S = N_P J_P = N_P \dfrac{I_P}{\sqrt{3}} \end{array}\right\} \Rightarrow I_S \cos\varphi_S = \frac{N_P}{N_S\sqrt{3}} I_P \cos\varphi_P = \frac{N_P}{N_S\sqrt{3}} \frac{P_P}{U_P\sqrt{3}}$$

Soit numériquement : $$I_S \cos\varphi_S = \frac{2100 \times 240\ 000}{50 \times 3 \times 5\ 500} = 610,9\ A$$

Exercice 2

2° Si la réactance est le double de la résistance, cela donne un déphasage φ_S :

$$\varphi_S = \tan^{-1}\left(\frac{R}{X}\right) = \tan^{-1}(0,5) = 26,56°$$

D'où la valeur de I_S : $$I_S = \frac{I_S \cos\varphi_S}{\cos\varphi_S} = 683\ A$$

D'où en écrivant les pertes Joule : $$P_J = 3R_S I_S^2 \Rightarrow R_S = 2,36\ m\Omega$$

Exercice 2

3° Le couplage Dy donne une tension simple secondaire à vide :

$$V_{S0} = \frac{N_S}{N_P} U_P = 130{,}95\ V$$

Quant à la puissance active au secondaire, elle vaut :

$$P_S = 3 V_S I_S \cos\varphi_S = \eta P_P = 235\ 680\ W$$

D'où la valeur de V_S :

$$V_S = \frac{P_S}{3 I_S \cos\varphi_S} = 128{,}6\ V \Rightarrow \Delta V_S = 2{,}36\ V$$

D'où en écrivant l'expression de la chute de tension :

$$\Delta V_S = R_S I_S \cos\varphi_S + X_S I_S \sin\varphi_S \Rightarrow X_S = \frac{\Delta V_S - R_S I_S \cos\varphi_S}{I_S \sin\varphi_S} = 2{,}99\ m\Omega$$

Exercice 3

Un transformateur triphasé, couplé en Dy, est alimenté par un réseau 20 kV - 50 Hz. Il est connecté à un réseau BT 400 V.

1° - Pour un courant secondaire de 230 A avec un $\cos\varphi = 0{,}8$ AR, le rendement est maximum et vaut 96 %. Déterminer les pertes cuivre et les pertes fer.

2° - Dans ces mêmes conditions, la chute de tension est de 5 %. Calculer les éléments R_S et X_S du schéma équivalent de chaque colonne.

Exercice 3

1° Le rendement est maximum donc les pertes Joule et les pertes fer sont égales. Ce rendement maximum s'écrit :

$$\eta_{Max} = 0,96 = \frac{P_S}{P_S + 2P_{fer}} \quad avec \quad P_S = U_S I_S \sqrt{3} \cos\varphi_S$$

Soit numériquement :

$$P_S = 400\sqrt{3} \times 230 \times 0,8 = 127\,479 \ W \ \Rightarrow \ P_{fer} = P_J = 2656 \ W$$

Exercice 3

2° De plus les pertes Joule s'expriment par : $P_J = 3R_S I_S^2 \Rightarrow R_S = 16,73\ m\Omega$

La chute de tension, dans ces conditions, s'écrit :

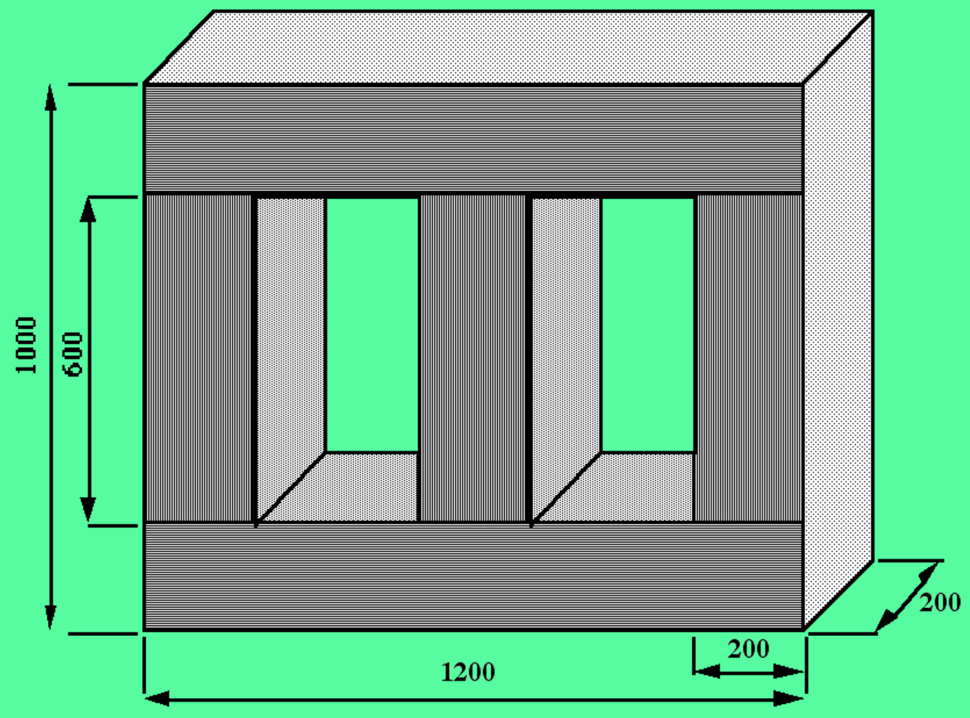
$$\left.\begin{array}{l} \Delta V = 0,05\,V_{S0} = 0,05\left(V_S + \Delta V\right) \\ V_S = \dfrac{400}{\sqrt{3}} \end{array}\right\} \Rightarrow \Delta V = \frac{0,05}{0,95}\,V_S = 12,15\ V$$

Ainsi :

$$\Delta V = R_S I_S \cos\varphi_S + X_S I_S \sin\varphi_S \Rightarrow X_S = 65,76\ m\Omega$$

Exercice 4

Le profil du circuit magnétique d'un transformateur triphasé est représenté ci-contre. Les tôles employées engendrent des pertes de 1,3 W / kg. La masse volumique du circuit magnétique sera prise égale à 7500 kg par m^3. La fréquence réseau est de 50 Hz et l'amplitude de l' induction est $B_m = 1{,}4$ T.



1° - Sachant que ce transformateur présente un rendement maximum de 98 %, calculer sa puissance. On précise la liste des puissances normalisées en kVA :
25, 50, 100, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630.

2° - Le nombre de spires primaires est $N_P = 1\,600$, calculer la tension efficace aux bornes d'un enroulement primaire.

Exercice 4

1° On calcul le volume du circuit magnétique :

$$Vol = 2(1{,}2 \times 0{,}2 \times 0{,}2) + 3(0{,}6 \times 0{,}2 \times 0{,}2) = 0{,}168\ m^3$$

D'où la masse : $m = 7500 \times 0{,}168 = 1260\ kg$

Les pertes fer s'élèveront donc à : $P_{fer} = 1260 \times 1{,}3 \times 1{,}4^2 = 3210\ W$

Et les pertes totales à : $P_{Tot} = 3210 + 3210 = 6420\ W\ \left(P_J = P_{fer}\ \ si\ \eta_{Max}\right)$

De plus :

$$\eta = \frac{P_U}{P_U + Pertes} \Rightarrow P_U = \frac{\eta}{1-\eta} Pertes = 314\,580\ W$$

Ce transformateur est donc sans doute un **315 kVA**

Rq : On aurait pu passer aussi par la puissance absorbée : $P_{Abs} = \dfrac{Pertes}{1-\eta} = 321000\ W$

Exercice 4

2° La tension primaire fixe le flux par l'expression :

$$V_P = \frac{N_P\, S\, \omega\, \hat{B}}{\sqrt{2}}$$

Soit numériquement :

$$V_P = \frac{1600 \times 0,2^2 \times 100\pi \times 1,4}{\sqrt{2}} = 19\,904\ V$$

Ce transformateur est donc certainement prévu pour être câblé en triangle sur un **réseau 20 kV**

Exercice 5

Un moteur de forte puissance, alimenté par un réseau triphasé 5500 V - 50 Hz, absorbe un courant de 60 A sous un $\cos\varphi = 0{,}85$. On souhaite améliorer ce facteur de puissance et pour cela, on dispose d'un transformateur triphasé dont les caractéristiques sont :

- $U_P = 5500$ V ; couplage Dy ; $S_n = 250$ kVA ; nombres de spires : $N_P = 2500$ et $N_S = 227$;
- courant à vide, supposé purement réactif, $I_{P0} = 1$ A ;
- composants du schéma monophasé équivalent de Kapp : $R_S = 14$ mΩ et $X_S = 38$ mΩ .

On connecte en triangle au secondaire de ce transformateur 3 condensateurs de 330 μF.

1° - Calculer la tension aux bornes des condensateurs ainsi que la puissance réactive produite.

2° - Evaluer le réactif consommé par le transformateur et déterminer la puissance réactive disponible coté primaire.

3° - Calculer alors le nouveau facteur de puissance de l'ensemble moteur plus transformateur.

Exercice 5

1° On peut admettre que le courant de ligne secondaire I_S est purement réactif, d'où :

$$\varphi_S = -\frac{\pi}{2} \Rightarrow \Delta V_S = -X_S I_S$$

La tension aux bornes des condensateurs est la tension composée secondaire et elle vaut :

$$\left.\begin{aligned} V_{S0} &= \frac{N_S}{N_P} U_P = V_S - X_S I_S \\ I_S &= \sqrt{3} J_C = \sqrt{3} U_S C\omega = 3 V_S C\omega \end{aligned}\right\} \Rightarrow U_S = \sqrt{3}\frac{V_{S0}}{1 - 3C\omega X_S}$$

où J_C est le courant parcourant les condensateurs

Soit numériquement : $$V_{S0} = \frac{227}{2500} \times 5500 = 499{,}4\ V \Rightarrow U_S = 875{,}33\ V$$

La puissance réactive produite sera donc : $$Q_C = 3C\omega U_S^2 = 238\ 303\ VAr$$

Exercice 5

2° Le transformateur consomme du réactif en créant le flux (courant magnétisant ≈ I_{P0}) et du fait des fuites magnétiques (X_S). Il vient :

$$Q_{Tr} = Q_M + Q_F = U_P I_{P0} \sqrt{3} + 3 X_S I_S^2$$
$$avec\ \ I_S = 3 V_S C \omega$$

Soit numériquement : $I_S = 157{,}18\ A \Rightarrow Q_{Tr} = 12\,342{,}7\ VAr$

La puissance réactive disponible côté primaire sera donc :

$$Q_{DISPO} = Q_C - Q_{Tr} = 225\,960{,}6\ VAr$$

Exercice 5

3° Ce réactif, Q_{DISPO} est fourni au moteur et seule la différence **$Q = Q_{MOT} - Q_{DISPO}$** sera consommée sur le réseau primaire; on a :

$$Q_{MOT} = U_P \, I_{MOT} \sqrt{3} \sin\varphi_{MOT}$$

Soit numériquement :

$$Q_{MOT} = 5\ 500 \times 60 \times \sqrt{3} \times \sin\left(\cos^{-1} 0,85\right) = 301\ 096,7\ VAr$$

La puissance réactive consommée sur le réseau sera :

$$Q = Q_{MOT} - Q_{DISPO} = 75136\ VAr$$

D'où le nouveau facteur de puissance :

$$\tan\varphi = \frac{Q}{P_{MOT}} = \frac{Q}{U_P I_{MOT} \sqrt{3} \cos\varphi_{MOT}}$$

Soit numériquement :

$$\tan\varphi = \frac{75\ 136}{485\ 840} = 0,1546 \Rightarrow \cos\varphi = 0,988$$

Rq : On néglige ici la puissance active absorbée par le transformateur car elle n'intervient pas de manière significative (par exemple $P_J \approx 1000$ W).

Exercice 6

Une ligne triphasée 15 kV d'indices horaires " 1 - 5 - 9 ", alimente un transformateur triphasé T_1 couplé en "Yz1". Les nombres de spires sont N_S = 110 (par 1/2 enroulement) et N_P = 6495.

1° - Calculer la tension simple au secondaire.

2° - Une nouvelle ligne 20 kV d'indices horaires " 3 - 7 - 11 " est installée sur le site et on la relie à un deuxième transformateur T_2 couplé en Dy et connecté en parallèle sur T_1 au niveau des secondaires. Préciser le rapport du nombre de spires de T_2 et l'indice horaire de son couplage; représenter le câblage des enroulements de T_2 pour obtenir un tel indice.

Exercice 6

1° Dans un couplage Yz, la tension simple au secondaire est $\sqrt{3}$ fois la tension de demi-enroulement :

$$\boxed{V_S = \sqrt{3}\,\frac{N_S}{N_P}V_P = \sqrt{3}\,\frac{110}{6495} \times \frac{15\ 000}{\sqrt{3}} = 254\ V}$$

Exercice 6

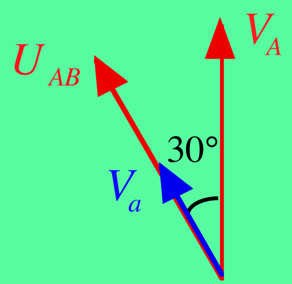
1° Dans un couplage Yz, la tension simple au secondaire est $\sqrt{3}$ fois la tension de demi-enroulement :

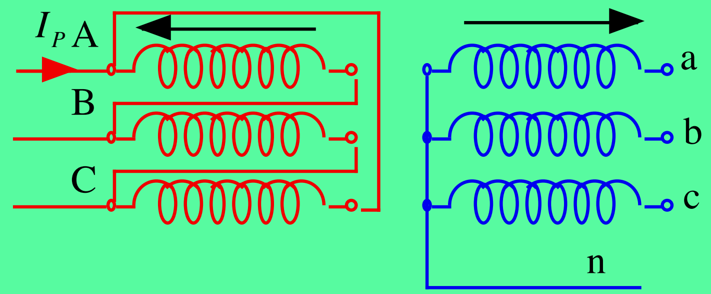
$$V_S = \sqrt{3}\,\frac{N_S}{N_P}V_P = \sqrt{3}\,\frac{110}{6495}\times\frac{15\ 000}{\sqrt{3}} = 254\ V$$

2° Le couplage Dy de T_2 permet d'écrire :

$$\frac{N_S}{N_P} = \frac{V_S}{U_P} = \frac{254}{20\ 000} = 12,7\times 10^{-3}$$

La B.T. est en « 2 - 6 - 10 » du fait de T_1, il faut donc un indice **11** pour T_2.





Dy11

Exercice 7

Une ligne triphasée 20 kV d'indice horaire 3 . 7 . 11, alimente un transformateur triphasé T_1

couplé en Dy 11 dont le rapport du nombre de spires est $\frac{N_s}{N_p} = \frac{1}{50\sqrt{3}}$.

1° - Calculer la tension simple au secondaire.

2° - Une autre ligne 20 kV d'indice horaire 1 . 5 . 9 alimente un deuxième transformateur T_2 connecté en parallèle sur T_1 au niveau des secondaires. Donner le couplage de T_2

connaissant son rapport $\frac{N_s}{N_p} = \frac{\sqrt{3}}{50}$.

Tracer, en respectant les indices horaires, le diagramme vectoriel des tensions V_A et V_a de T_1 et T_2; représenter, en respectant la norme, le câblage des enroulements de T_2.

Exercice 7

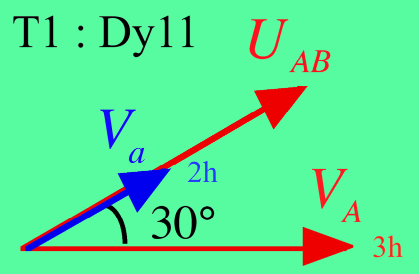
1° Le couplage en Dy de T_1 donne :

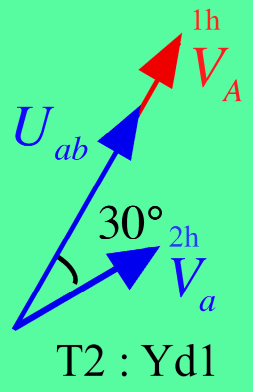
$$\boxed{\frac{N_S}{N_P} = \frac{V_S}{U_P} = \frac{1}{50\sqrt{3}} \Rightarrow V_S = \frac{20\ 000}{50\sqrt{3}} = 231\ V}$$

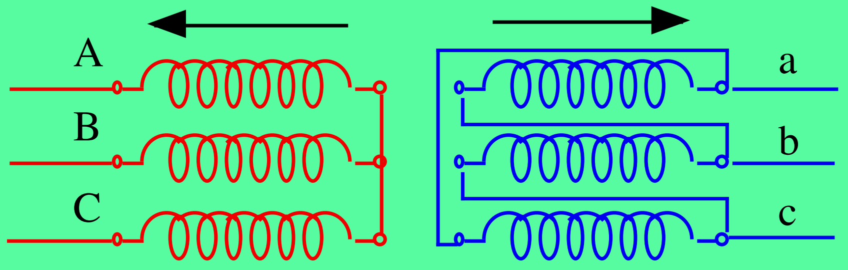
Exercice 7

2° On remarque que : $\boxed{\dfrac{U_S}{U_P} = \dfrac{1}{50} \Rightarrow \dfrac{U_S}{V_P} = \dfrac{\sqrt{3}}{50} = \dfrac{N_S}{N_P}(T_2)}$

Seul un couplage **Yd** peut donner un tel résultat. Par ailleurs, la basse tension étant en « 2 - 6 - 10 » par T_1, il faudra un câblage en **Yd1** pour pouvoir relier les deux secondaires







Yd1

Exercice 8

Un transformateur triphasé, de puissance apparente S_n = 25 kVA, est réalisé à partir d'un circuit magnétique de masse 120 kg dont les tôles engendrent des pertes de 0,6 W/kg.
Pour la tension primaire nominale, U_{1n} = 20 000 V, l'amplitude de l'induction est B_m = 1,3 T.
Lors d'un essai à vide, on a relevé, pour $U_1 = U_{1n}$, un courant primaire de 24 mA et une tension entre phases au secondaire de 412 V. Les composants du schéma de Kapp par phase sont $R_S = 0{,}19\ \Omega$ et $X_S = 0{,}2\ \Omega$.
Ce transformateur alimente une installation triphasée qui absorbe un courant de 30 A sous un $\cos\varphi = 0{,}9$ AR.

1° - Préciser la valeur de la tension composée aux bornes de l'installation.

2° - Faire le bilan des différentes puissances absorbées et en déduire le facteur de puissance vu côté 20 kV ainsi que le courant de ligne consommé.

Exercice 8

1° Pour I_S = 30 A et $\cos\varphi_S$ = 0,9 AR :

$$\Delta V_S = R_S I_S \cos\varphi_S + X_S I_S \sin\varphi_S = 7{,}745\ V$$

Soit numériquement :

$$U_S = U_{S0} - \sqrt{3}\,\Delta V_S = 398{,}6\ V$$

Exercice 8

1° Pour $I_S = 30$ A et $\cos\varphi_S = 0{,}9$ AR :

$$\Delta V_S = R_S I_S \cos\varphi_S + X_S I_S \sin\varphi_S = 7{,}745\ V$$

Soit numériquement :

$$U_S = U_{S0} - \sqrt{3}\,\Delta V_S = 398{,}6\ V$$

2° On utilise le **théorème de Boucherot** :

Récepteurs	P (W)	Q (Var)	Remarques
Charge	18 640	9028	$P = UI\sqrt{3}\cos\varphi\ \ et\ \ Q = P\tan\varphi$
R_f et X_m	121,7	822,4	$P_{fer} = 120 \times 0{,}6 \times 1{,}3^2\ \ et\ \ Q = P_{fer}\tan\varphi_0$ $avec\ \cos\varphi_0 = P_{fer} \big/ U_{Pn} I_{P0}\sqrt{3} = 0{,}146$
R_S et X_S	513	540	$P = 3R_S I_S^2\ \ et\ \ Q = 3X_S I_S^2$
Totaux	19 274,6	10 390,2	

$$I_P = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{U_P\sqrt{3}} = 0{,}632\ A\ \ et\ \tan\varphi = \frac{Q}{P} \Rightarrow \cos\varphi = 0{,}88$$

Exercice 9

Un transformateur monophasé est réalisé à partir d'un circuit magnétique de masse 375 kg dont les tôles engendrent des pertes de 0,6 W/kg (si B_m = 1 T et f = 50 Hz). La puissance apparente est S_n = 100 kVA.
Lors des essais suivants, on a relevé :
- Essai à vide : $U_1 = U_{1n}$ = 20 kV ; P_{10} = 350 W ; U_{20} = 238 V ; pertes Joule négligées;
- Essai en court circuit : P_{1cc} = 1590 W ; u_{cc} = 4% ; $I_{1cc} = I_{1n}$.

1° - Calculer B_m l'amplitude de l'induction si $U_1 = U_{1n}$.

2° - Déterminer R_S et X_S les composants du schéma équivalent de Kapp et rappeler ce qu'ils représentent.

3° - Calculer, pour une charge résistive, le rendement maximum et le courant secondaire correspondant.

4° - La charge connectée au secondaire consomme une puissance active de 64 kW et une puissance réactive de 48 kVAr. Calculer I_2 puis le rendement.

5° - On utilise 3 transformateurs de ce type pour faire un ensemble triphasé. Dessiner le câblage des enroulements pour un réseau primaire de 20 kV d'indices horaires "3 - 7 - 11" et un réseau BT 400 V dont les indices sont imposés par ailleurs en "2 - 6 - 10" .

Exercice 9

1° Les pertes fer nominales (sous U_{1n}) sont voisines de P_{10} = 350 W. Or elles sont aussi égales à :

$$\boxed{P_{fer} = 0,6 \times 375 \times \hat{B}^2 \Rightarrow \hat{B} = 1,247\ T}$$

Exercice 9

1° Les pertes fer nominales (sous U_{1n}) sont voisines de P_{10} = 350 W. Or elles sont aussi égales à :

$$P_{fer} = 0,6 \times 375 \times \hat{B}^2 \Rightarrow \hat{B} = 1,247 \ T$$

2° Le courant nominal secondaire est : $$I_{2n} = \frac{S_n}{U_{2n}} = \frac{S_n}{U_{20}} = \frac{100\ 000}{238} = 420,2 \ A$$

et on peut remarquer que : $$mU_{1cc} = \frac{U_{20}}{U_{1n}} u_{cc} U_{1n} = 238 \times 0,04 = 9,52 \ V$$

D'où : $$R_S = \frac{P_{1cc}}{I_{2cc}^2} = \frac{P_{1cc}}{I_{2n}^2} = 9 \ m\Omega$$

$$Z_S = \frac{mU_{1cc}}{I_{2cc}} = 22,658 \ m\Omega \Rightarrow X_S = \sqrt{Z_S^2 - R_S^2} = 20,8 \ m\Omega$$

R_S modélise les **pertes Joule** et X_S les **fuites magnétiques**.

Exercice 9

3° Le rendement maximum est obtenu pour l'égalité des pertes Joule et des pertes fer, soit pour un courant secondaire :

$$I_{2M} = \sqrt{\frac{P_{fer}}{R_S}} = 197\ A \Rightarrow \eta_{Maxi} = \frac{U_{20} I_{2M} - P_{fer}}{U_{20} I_{2M} + P_{fer}} = 98{,}52\ \%$$

Exercice 9

3° Le rendement maximum est obtenu pour l'égalité des pertes Joule et des pertes fer, soit pour un courant secondaire :

$$I_{2M} = \sqrt{\frac{P_{fer}}{R_S}} = 197\ A \Rightarrow \eta_{Maxi} = \frac{U_{20} I_{2M} - P_{fer}}{U_{20} I_{2M} + P_{fer}} = 98{,}52\ \%$$

4° La puissance apparente au niveau de la charge est :

$$S_{CH} = \sqrt{P^2 + Q^2} = U_2 I_2 = 80\ kVA$$

$$avec \begin{cases} \tan\varphi = \dfrac{Q}{P} \Rightarrow \cos\varphi = 0{,}8\ \ et\ \ \sin\varphi = 0{,}6 \\ U_2 = U_{20} - \Delta U = U_{20} - I_2\left(R_S \cos\varphi + X_S \sin\varphi\right) \end{cases}$$

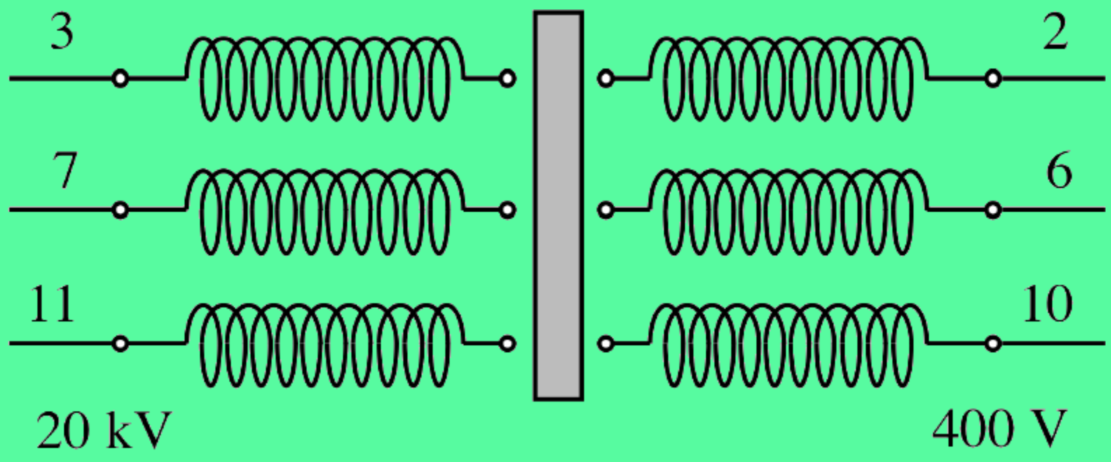
D'où l'équation du second degré en I_2 :

$$0{,}01968\, I_2^2 - 238 I_2 + 80\ 000 = 0$$

$$\Rightarrow I_2 = 346\ A\ \ et\ \ \eta = \frac{64\ 000}{64\ 000 + 350 + R_S I_2^2} = 97{,}82\ \%$$

Exercice 9

5° Le réseau primaire étant de 20 kV, la tension composée devra être appliquée aux primaires d'où un câblage en triangle. Le réseau BT de 400 V impose lui un couplage étoile pour les secondaires. Par ailleurs, pour passer de « 3 - 7 - 11 » à « 2 - 6 - 10 », il faut un indice horaire de 11; d'où un câblage en **Dy11** :



Exercice 9

5° Le réseau primaire étant de 20 kV, la tension composée devra être appliquée aux primaires d'où un câblage en triangle. Le réseau BT de 400 V impose lui un couplage étoile pour les secondaires. Par ailleurs, pour passer de « 3 - 7 - 11 » à « 2 - 6 - 10 », il faut un indice horaire de 11; d'où un câblage en **Dy11** :