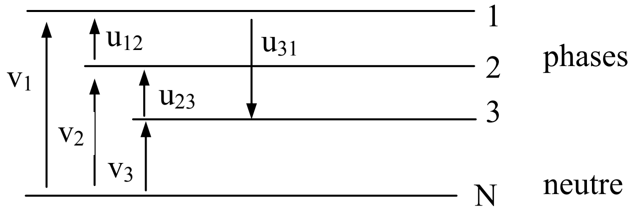
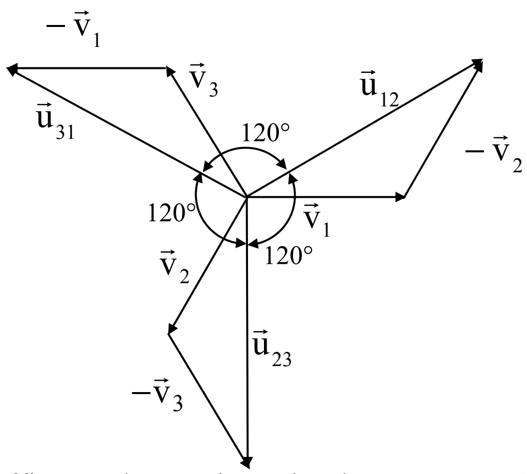
SYSTEMES TRIPHASES

1. Tensions



Le système est composé de trois phases et d'un neutre.
v_1, v_2, v_3 sont les tensions simples, entre phase et neutre.
Relation entre les valeurs efficaces : $V_1 = V_2 = V_3 = V$.
u_{12}, u_{23}, u_{31} sont les tensions composées, entre deux phases.
Relation entre les valeurs efficaces : $U_{12} = U_{23} = U_{31} = U$.

$$\overrightarrow{u_{12}} = \vec{v}_1 - \vec{v}_2$$
$$\overrightarrow{u_{23}} = \vec{v}_2 - \vec{v}_3$$
$$\overrightarrow{u_{31}} = \vec{v}_3 - \vec{v}_1$$



Relation entre les valeurs efficaces des tensions simples et composées :

$$\boxed{U = \sqrt{3}\ V}$$

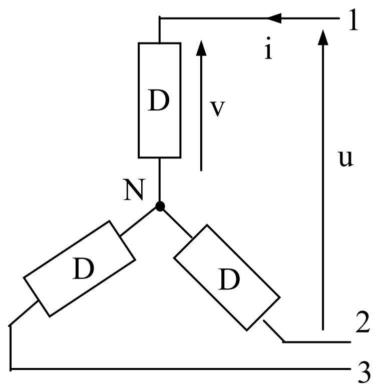
2. Couplages

On considère que les trois éléments sont identiques, le système est alors équilibré.

a) Couplage étoile

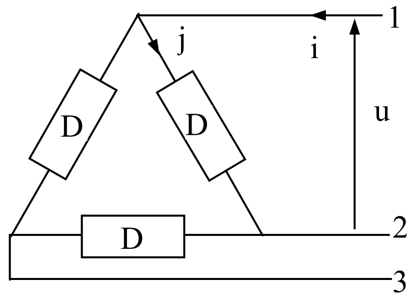
En étoile, chaque dipôle est soumis à la tension simple v et est traversé par le courant en ligne i.

Si le système est parfaitement équilibré, le fil neutre n'est pas nécessaire.



b) Couplage triangle

En triangle, chaque dipôle est soumis à la tension composée u et est traversé par le courant par phase j.
Il n'y a pas de neutre dans le couplage triangle. En triangle, chaque dipôle est soumis à la tension composée u et est traversé par le courant par phase j.
Il n'y a pas de neutre dans le couplage triangle.



Relation entre les valeurs efficaces du courant en ligne et du courant par phase.

$$\boxed{I = \sqrt{3}\,J}$$

3. Puissances en triphasé

Puissance active : $\boxed{P = \sqrt{3}UI\cos\varphi}$ ou $\boxed{P = 3VI\cos\varphi}$ (W)

Puissance réactive : $\boxed{Q = \sqrt{3}UI\sin\varphi}$ ou $\boxed{Q = 3VI\sin\varphi}$ (var)

Puissance apparente : $\boxed{S = \sqrt{3}\,UI}$ ou $\boxed{S = 3VI}$ (V.A)

En étoile φ est le déphasage entre l'intensité en ligne et la tension simple.
En triangle φ est le déphasage entre le courant par phase et la tension composée.

a) Relation entre les puissances

$\boxed{S^2 = P^2 + Q^2}$ $\boxed{P = S\cos\varphi}$ $\boxed{Q = S\sin\varphi}$ $\boxed{Q = P\tan\varphi}$

b) Théorème de Boucherot

Dans une installation les puissances actives consommées par chaque élément s'ajoutent, de même pour les puissances réactives :

$$P_{active} \text{ de l'installation} = \Sigma\, P_{élément}$$
$$Q_{réactive} \text{ de l'installation} = \Sigma Q_{élément}$$

Ne pas oublier qu'un élément résistif ne consomme pas de puissance réactive.

c) Effet Joule

On nomme R : la résistance entre deux phases.
r : la résistance du dipôle.

- En étoile : R = 2 r.

Puissance dissipée par effet Joule : $P_{Joule} = 3\,r\,I^2$ ou $\boxed{P_{Joule} = \frac{3}{2}RI^2}$

- En triangle : $R = \frac{2}{3} r$.

Puissance dissipée par effet Joule : $P_{Joule} = 3rJ^2$ ou $\boxed{P_{Joule} = \frac{3}{2} RI^2}$

4. Relèvement du facteur de puissance

Afin de limiter l'intensité du courant absorbé par l'installation et ainsi diminuer les pertes par effet Joule, on est amené à relever le facteur de puissance de cos φ à cos φ'. On utilise des condensateurs que l'on couple le plus souvent en triangle. Un condensateur ne consomme pas de puissance active.

Puissance réactive aux bornes d'un condensateur : $Q_C = -U^2\omega C$

Valeur des capacités pour un couplage triangle :

pour trois condensateurs : $Q_{3C} = -3Q_C$

$Q_{3C} = Q' - Q$; comme $Q = P \tan \varphi$ et $Q' = P \tan \varphi'$, on obtient :

$$\boxed{C_\Delta = \frac{P(\tan \varphi - \tan \varphi')}{3\omega U^2}}$$

Valeur de l'intensité du courant en ligne I' après ajout des condensateurs :

la puissance active ne changeant pas $P = P' \Rightarrow I \cos \varphi = I' \cos \varphi'$

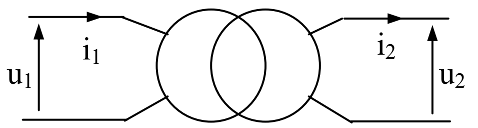
$$\boxed{I' = \frac{I \cos \varphi}{\cos \varphi'}}$$

TRANSFORMATEUR

1. Transformateur parfait

On considère qu'un transformateur est parfait lorsque toutes les pertes sont négligées (pertes par effet Joule, pertes par hystérésis, par courants de Foucault, par fuites magnétiques). Il ne provoque aucune perte d'énergie.

Schéma équivalent :



u_1 tension primaire
u_2 tension secondaire
i_1 courant primaire
i_2 courant secondaire.

N_1 nombre de spires au primaire, N_2 nombre de spires au secondaire.
Si $U_2 > U_1$ le transformateur est élévateur de tension.
Si $U_2 = U_1$ le transformateur est dit d'isolement.
Si $U_2 < U_1$ le transformateur est abaisseur de tension.

Rapport de transformation m : $\boxed{m = \frac{N_2}{N_1}}$; $\boxed{m = \frac{U_2}{U_1}}$; $\boxed{m = \frac{I_1}{I_2}}$

Formules de Boucherot : $\boxed{U_1 = 4{,}44 N_1 S \hat{B} f}$ $\boxed{U_2 = 4{,}44 N_2 S \hat{B} f}$

(S aire de la section magnétique, $\hat{B}$ champ magnétique maximal, f fréquence du réseau).

Puissances : $\boxed{P_1 = P_2 \ ; \ Q_1 = Q_2 \ ; \ S_1 = S_2}$

2. Transformateur réel

Les pertes, négligées pour le transformateur parfait, ne le sont plus.

Rapport de transformation : $\boxed{m = \frac{U_{2v}}{U_{1N}}}$ $\boxed{m = \frac{N_2}{N_1}}$

U_{2v} tension secondaire à vide ; U_{1N} tension nominale primaire.

Puissance active : $\boxed{P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1}$

Puissance utile : $\boxed{P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2}$

Un essai à vide permet de déterminer les pertes fer. En considérant négligeables les pertes par effet Joule, on obtient :

$$\boxed{P_{vide} = P_{fer}}$$

Un essai en court-circuit permet de déterminer les pertes par effet Joule. En considérant les pertes fer comme négligeables, on obtient :

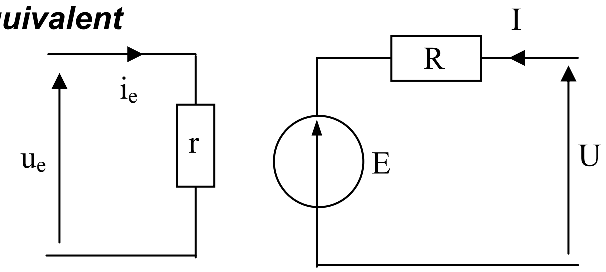
$$\boxed{P_{court\text{-}circuit} = P_{Joule}}$$

Rendement : $\boxed{\eta = \dfrac{P_2}{P_1}}$ avec $\boxed{P_2 = P_1 - P_{fer} - P_{Joule}}$

MOTEUR A EXCITATION INDEPENDANTE

Un moteur à excitation indépendante est constitué par un circuit magnétique qui comporte :
– une partie fixe appelée stator ou inducteur (création du flux) ;
– une partie mobile appelée rotor ou induit séparée du stator par un entrefer.

1. Schéma équivalent



Inducteur Induit

On peut écrire : $\boxed{u_e = r\, i_e}$ $\boxed{U = E + RI}$

2. Expression de la force électromotrice

$$\boxed{E = K\Phi\Omega}$$

Φ : flux utile sous un pôle (en Weber), il dépend du courant d'excitation i_e.
Ω : vitesse de rotation en rad/s, $\Omega = 2\pi n$ avec n vitesse en tr/s.
K est une constante.

$$E = K'\,\Phi\, n \quad \text{avec } K' = K2\pi = \text{constante}$$

Lorsque que le courant d'excitation est constant, le flux est constant, l'expression de E devient :

$$\boxed{E = k\, n} \quad \text{avec } k = K'\Phi = \text{constante.}$$

3. Expression des moments des couples

Le moment du couple électromagnétique T_{em} s'exprime par :

$$\boxed{T_{em} = \frac{EI}{2\pi n} \quad \text{ou} \quad T_{em} = k'I} \quad \text{(à flux constant)}$$

Les pertes autres que par effet Joule se traduisent par un couple de moment T_p.
Le moment du couple utile T_u s'exprime par :

$$\boxed{T_u = T_{em} - T_p \quad ; \quad T_u = \frac{P_u}{2\pi n}}$$

4. Bilan des puissances

Puissance totale absorbée :

P_a = puissance absorbée par l'induit + puissance absorbée par l'inducteur

$$\boxed{P_a = UI + u_e i_e}$$

Pertes Joule dans l'inducteur :

$$\boxed{P_{j\ inducteur} = ri_e^2 = u_e i_e}$$

Pertes Joule dans l'induit :

$$\boxed{P_{j\ induit} = RI^2}$$

Pertes collectives :

Les pertes collectives sont la somme des pertes dans le fer P_{fer} et des pertes mécaniques $P_{méca}$.

Puissance électromagnétique :

$$\boxed{P_{em} = EI}$$

Puissance utile :

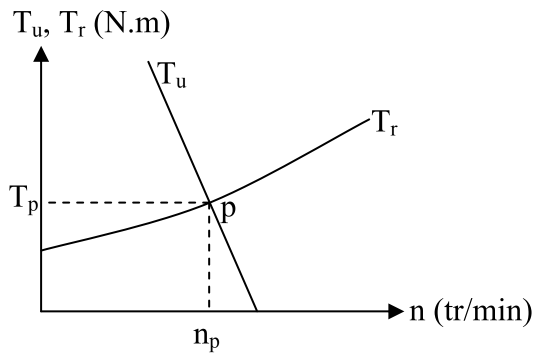
$$P_u = P_a - \Sigma \text{ pertes dans le moteur}$$

$$\boxed{P_u = P_a - P_{j\ inducteur} - P_{j\ induit} - P_{fer} - P_{méca}}$$

5. Point de fonctionnement

La charge impose un moment de couple résistant T_r ; le moteur doit donc fournir à l'équilibre un moment de couple utile $T_u = T_r$ à n = cte.

Le point de fonctionnement p (n_p ; T_p) correspond à l'intersection des courbes $T_u = f(n)$ et $T_r = g'(n)$.



6. Rendement

Méthode directe

$$\eta = \frac{\text{Puissance utile}}{\text{Puissance absorbée}}$$

Méthode des pertes séparées

– On réalise un essai à vide du moteur, en se plaçant avec le même flux et la même vitesse qu'en charge. On détermine ainsi les pertes collectives P_c.

– On réalise un essai en charge, qui par la mesure des tensions et des intensités des courants induit et inducteur permet d'obtenir les pertes par effet Joule et la puissance absorbée.

D'où le bilan :

$P_u = P_a - \Sigma \text{ Pertes} = P_a - P_{Joule} - P_{collectives}$.

$$\boxed{\eta = \frac{P_a - P_{Joule} - P_{collectives}}{\text{Puissance absorbée}}}$$