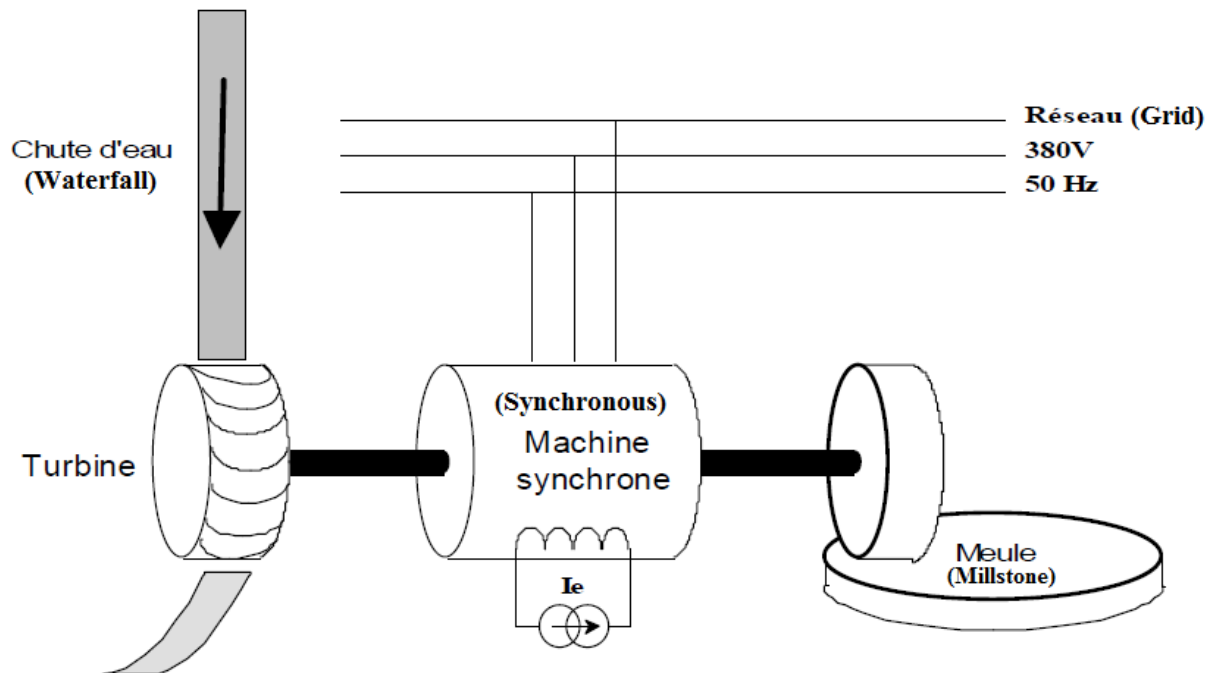


Exercise: Study of a mill motorization with synchronous machine

A mill (“un moulin”) for producing flour (“farine”) is driven by a hydraulic turbine and a synchronous machine connected to the grid. Turbine, synchronous machine and millstone are in the same axis.

The power required for **proper operation of the mill** is **80 kW**. The mechanical power supplied by the turbine varies between **0 and 170 kW** depending on the water flow in the feed line.

The figure below gives an overview of the system:



We neglect all losses and friction.

- 1- Knowing that the machine is connected directly to the grid, justify the use of a synchronous machine for such application.
- 2- To compensate for the reactive power consumption of the entire system, the synchronous machine must **provide to the grid** a reactive power **$Q=36 \text{ kVAR}$** .
 - a) Calculate the active power to be absorbed from the grid by the machine when the turbine **does not give** power.
 - b) Calculate the active power that should return the machine to the grid when the turbine gives **100%** of its power. Deduce the apparent power of the synchronous machine.

3- Installed machine has a minimum apparent power of **97 kVA**. It is coupled on star with a **50Hz 380V** grid. Its cyclical reactance at **50 Hz** (Behn Eschenbourg reactance) is $L_s\omega = 1.95 \Omega$. **Resistances are neglected**. It is hexapole ($p = 3$).
When turbine provides **170 kW**,

- a) Calculate the current **I** absorbed by a phase of the machine.
- b) Calculate the phase shift φ between the voltage across a winding of the machine and the phase current. (**Receptor convention: $\cos \varphi < 0$ and $\sin \varphi < 0$**).
- c) Draw as accurately as possible the Behn Eschenbourg diagram (vector diagram)
- d) Graphically assess the **emf** at no load **E** required for this operating point.
- e) Check (verify) by calculating the value of the **emf E**.

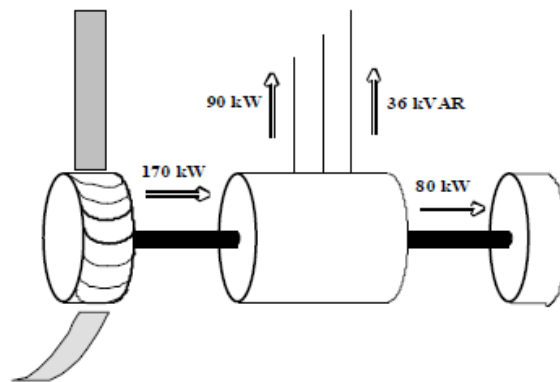
CORRECTION:

Exercise: Study of a mill motorization with synchronous machine

1/ La machine étant connectée au réseau, sa vitesse de rotation en fonctionnement normal est donc fixée par la pulsation du réseau. La meule étant solidaire de l'axe de la machine, la présence de la machine synchrone fixe la vitesse de rotation de la meule.

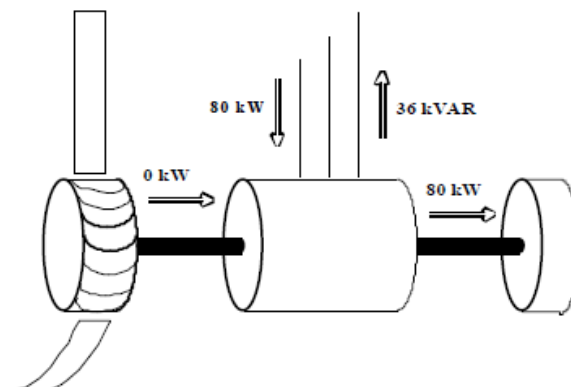
De plus, nous avons vu dans le cours qu'une machine synchrone est susceptible de fonctionner dans les quatre électriques. Il va donc être possible à l'aide de la machine synchrone d'adapter la puissance active fournie par la turbine à la meule. Si la puissance en sortie de la turbine est supérieure à la puissance nécessaire au bon fonctionnement du moulin, la machine va renvoyer au réseau le surplus de puissance active. Si la puissance en sortie de la turbine est inférieure à la puissance nécessaire au bon fonctionnement du moulin, la machine synchrone va fournir à la meule le complément de puissance active nécessaire. De même, il va être possible d'utiliser la machine synchrone pour fournir de la puissance réactive au réseau, ce qui évitera d'avoir à placer des condensateurs afin de compenser l'énergie réactive consommée par le reste de l'installation.

II/ 1/ Lorsque la turbine nous fournit 100% de sa puissance, les échanges de puissances sont les suivants



La puissance fournie au réseau est donc de $170 - 80 = 90 \text{ kW}$

2/ Lorsque la turbine ne nous fournit pas de puissance, les échanges de puissance sont les suivants



La puissance absorbée au réseau est donc de 80 kW

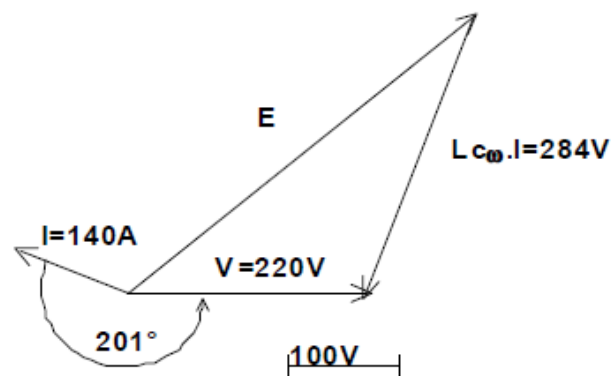
3/ Nous allons évaluer la puissance apparente dans le cas le plus défavorable, c'est à dire lorsque la machine fonctionne en générateur. La puissance apparente est alors de $S = \sqrt{90^2 + 36^2} = 97\text{kVA}$.

III/

1/ Lorsque la turbine nous fournit 170 kW, la puissance apparente fournie au réseau est de 97 kVA. Or $S = 3.V.I \Rightarrow I = \frac{S}{3.V} = \frac{97000}{3 \cdot 220} = 146\text{A}$

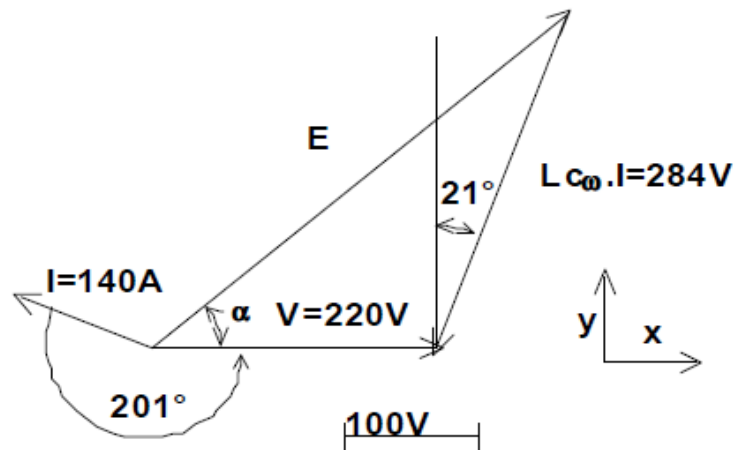
2/ Il est possible de définir φ à partir des puissances actives et réactives (exprimées en convention récepteur) : $\begin{cases} P = 3.V.I \cos \varphi = -90 \text{ kW} \\ Q = 3.V.I \sin \varphi = -36 \text{ kW} \end{cases}$. On en déduit $\text{tg} \varphi = \frac{Q}{P} = 0.4 \Rightarrow \varphi = 21^\circ + k.180^\circ$. Le sinus et le cosinus de φ étant négatifs, on en déduit $\varphi = 201^\circ$.

3/ Il est à présent possible de construire avec précision le diagramme de Behn Eschenbourg, sachant $Lc\omega.I = 1.95 \cdot 146 = 284\text{V}$.



5/ Il est possible de mesurer la valeur de E qui est de l'ordre de 405 V.

6/ Il est possible d'évaluer E par le calcul, en projetant les vecteurs sur deux axes :



On obtient le système d'équation :

$$\begin{cases} E \sin \alpha = Lc.\omega.I \cos(21^\circ) \\ E \cos \alpha = V + Lc.\omega.I \sin(21^\circ) \end{cases}$$

En élevant au carré et en sommant les deux équations, on obtient :

$$E^2 = V^2 + (Lc.\omega.I)^2 + 2 * V.Lc.\omega.I \sin(21^\circ)$$

$$E = \sqrt{220^2 + 284^2 + 2 * 220 * 284 * \sin(21)} = 416V$$