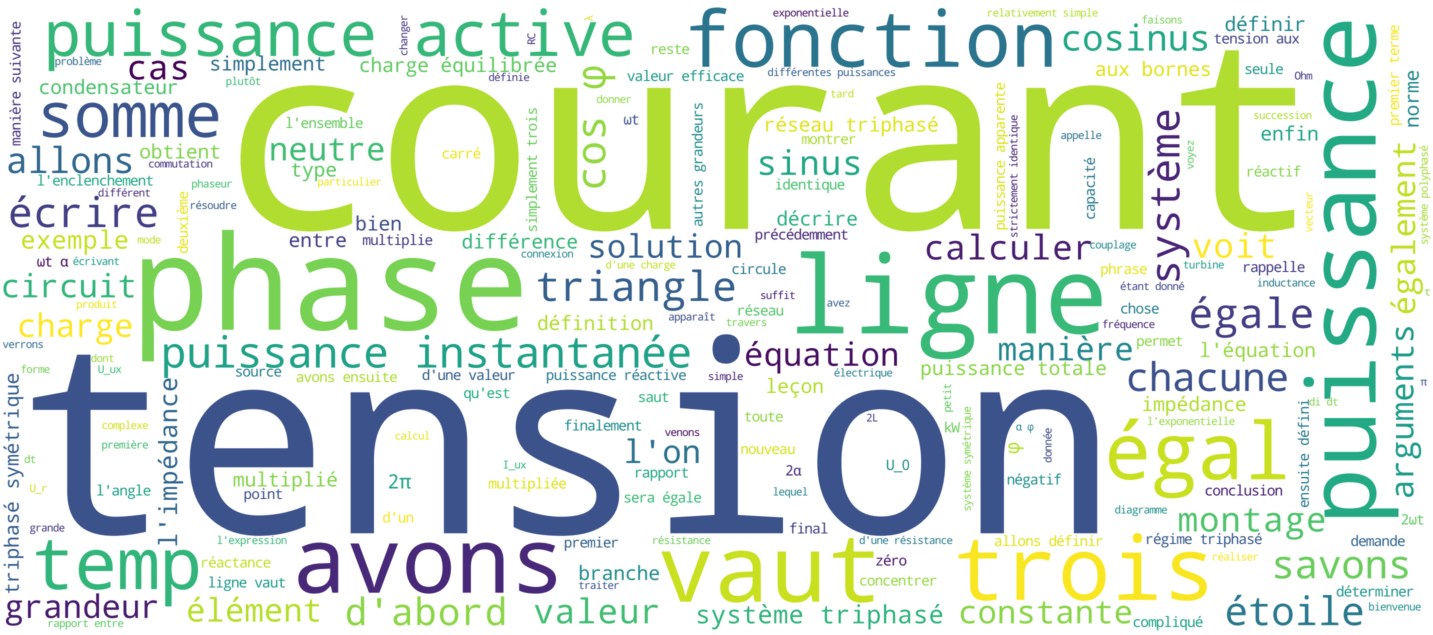
ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

RÉGIMES TRIPHASÉS

PUISSANCE EN RÉGIME TRIPHASÉ

LEÇON 5

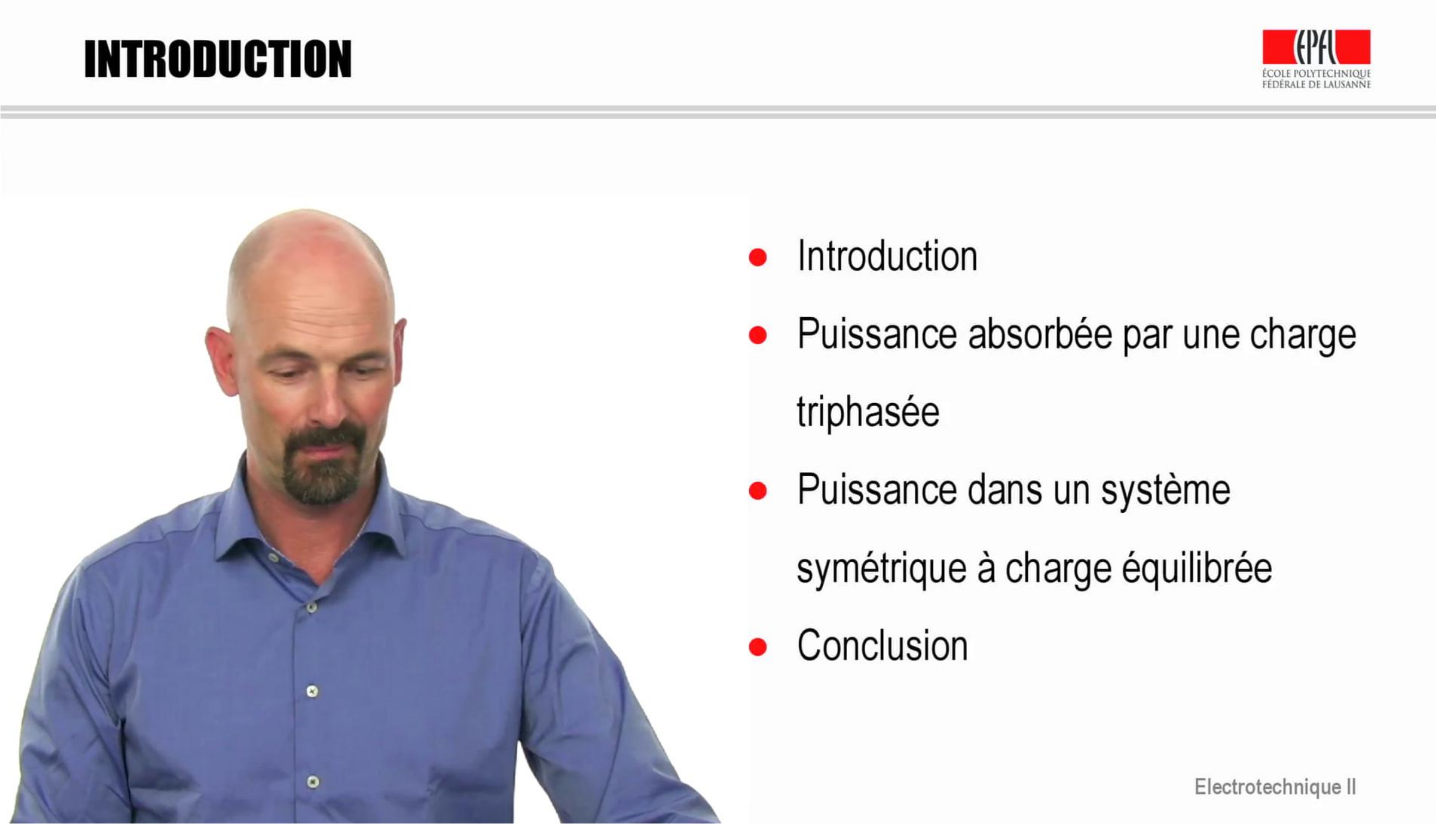
Électrotechnique II
Yves PERRIARD & Paolo GERMANO
Laboratoire d'Actionneurs Intégrés



Search MOOC

Video

EPFL



Bonjour et bienvenue dans cette leçon consacrée aux puissances en régime triphasé. Nous allons définir ce qu'est la puissance triphasée instantanée dans un système symétrique et nous étudierons également à travers deux exemples la puissance avec une charge équilibrée, ou plutôt, les puissances dans une charge équilibrée.

Notes

Summary

0m 04s

4 types de puissance :

$p(t)$ = puissance instantanée

P = puissance active = $\overline{p(t)} = UI\cos\varphi$ [W]

Q = " réactive = $UI\sin\varphi$ [Var]

S = " apparente = UI [VA]

Par symétrie : Puissance totale $\equiv \sum 3 \cdot P_{phase}$

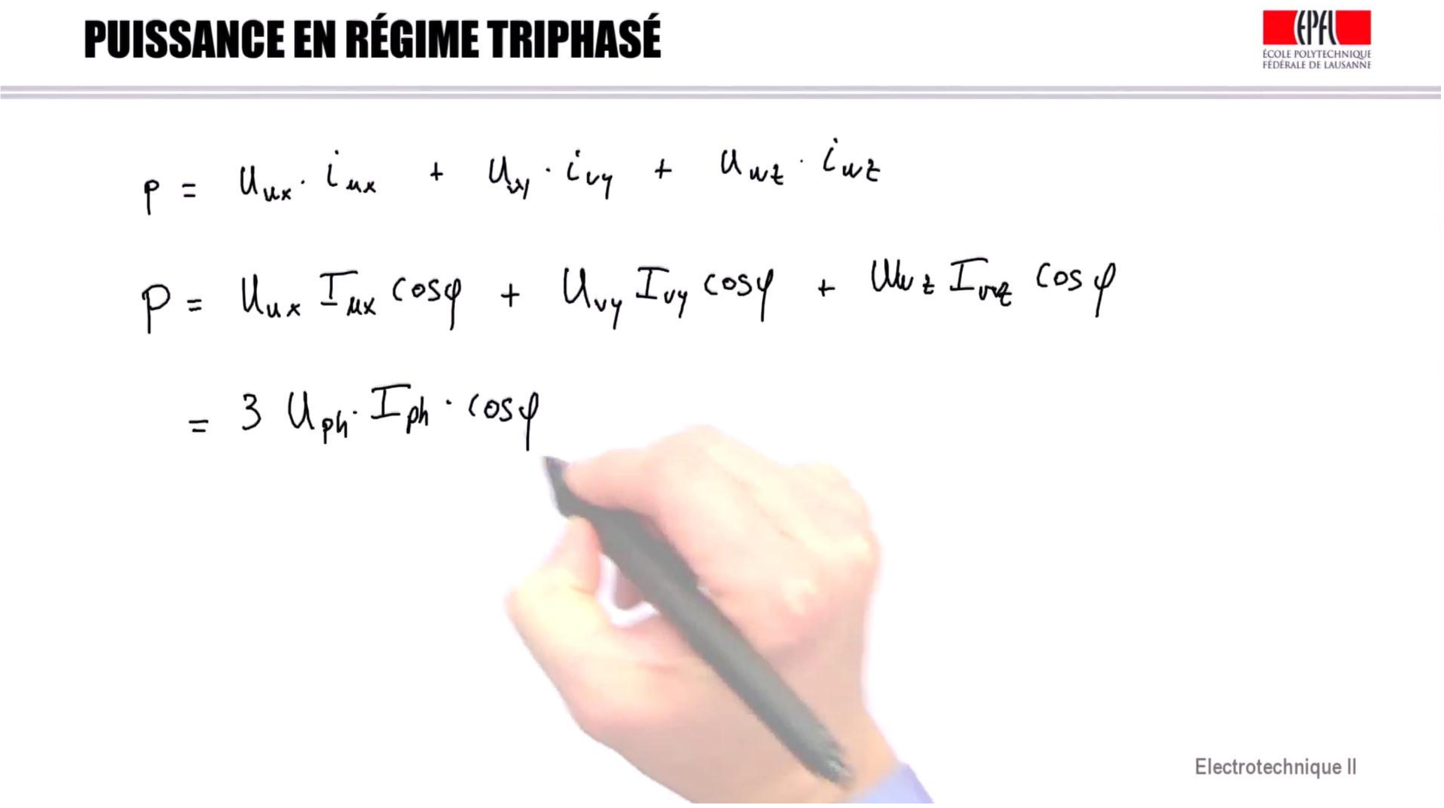
Electrotechnique II

Pour pouvoir définir la puissance instantanée dans un système triphasé symétrique je souhaite commencer par vous faire un bref rappel des types de puissance existantes que nous pouvons dénombrer au nombre de quatre, quatre types de puissance à commencer par le premier type, si l'on peut dire, de puissance. La puissance instantanée c'est à dire la puissance en fonction du temps. Nous avons ensuite défini la puissance active par la lettre P. Cette puissance active, nous avons vu que, par définition, c'est la moyenne de la puissance instantanée et ceci vaut également U*I*cos(φ) et tout ceci se mesure en watt. Nous avons ensuite défini un autre type de puissance qui définit l'aller-retour de la puissance non convertible qu'on appelle puissance réactive, et qui par définition en faut le but i U*I*sin(φ), et que nous notons en voltampère réactif. et enfin la puissance, dite apparente est égale à U*I et qui se note en voltampère. Maintenant, comment faire pour traiter les problèmes des puissances dans un régime triphasé. Nous avons vu que par symétrie toutes ces grandeurs sont égales dans chacune des branches. et nous savons que la puissance totale dans un système est simplement la somme de ces puissances. Donc on peut dire Donc on peut dire que par symétrie on peut écrire que la puissance totale est simplement équivalente à la somme des trois puissances dans chacune des phases.

Notes

Summary

0m 26s



On va donc pouvoir écrire pour chacun de ces types, ou chacune de ces puissances tout d'abord pour la puissance instantanée, nous pouvons écrire que c'est U_ux qui multiplie I_ux, qui sont ici des grandeurs instantanées en fonction du temps. Nous avons ensuite la deuxième phase U_vy qui multiplie I_vy, et la troisième phase U_wz qui multiplie I_wz. Nous verrons plus tard comment cette puissance instantanée se décrit et si finalement ce que nous pourrons en tirer comme conclusion à la fin. Pour la puissance active nous l'avons dit, c'est trois fois la puissance active de chacune des branches nous écrivons donc U_ux, I_ux qui multiplie cos(φ), et nous avons de même pour les deux autres branches _vy cos(φ) et _wz fois cos(φ). Trois fois ceci qui vont nous donner puisque ces trois grandeurs en étant symétrique, sont égales trois fois la tension de phase fois le courant de phase, fois cos(φ). Alors, vous me direz "oui mais si un de ces montages est en étoile ou en triangle ceci va-t-il changer la donne?" et bien non puisque chaque fois soit la tension de ligne est égale à la tension de phase, soit le courant de ligne est égal au courant de phase.

Notes

Summary

2m 23s

$$p = u_{ux} \cdot i_{ux} + u_{vy} \cdot i_{vy} + u_{wz} \cdot i_{wz}$$

$$P = U_{ux} I_{ux} \cos\varphi + U_{vy} I_{vy} \cos\varphi + U_{wz} I_{wz} \cos\varphi$$

$$= 3\, U_{ph} \cdot I_{ph} \cdot \cos\varphi = \sqrt{3}\, U_l I_l \cos\varphi$$

$$Q = 3\, U_{ph} \cdot I_{ph} \cdot \sin\varphi = \sqrt{3}\, U_l \cdot I_l \sin\varphi$$

$$S = 3\, U_{ph} \cdot I_{ph} = \sqrt{3}\, U_l \cdot I_l$$

Montage en étoile ou en triangle

Electrotechnique II

Ceci est toujours vrai et peut même être remplacé par la tension de ligne et le courant de ligne en écrivant avec le rapport √3 U_l I_l, cos(φ). On a donc pour la puissance active dans un système triphasé une relation simple qui fait que nous n'avons à nous concentrer que sur une seule des phases et non pas sur l'ensemble du système plus compliqué puisque c'est simplement trois fois chacune des phrases. On peut donc écrire de manière strictement identique pour la puissance réactive qu'on a trois fois la tension de phase le courant de phase, fois le sinus de l'angle et de même écrire ceci en fonction de la tension et du courant de ligne. On va avoir alors, aussi, pour la puissance apparente trois fois la tension de phase fois le courant de phase ou alors √3 fois la tension de ligne, fois le courant de ligne. Et tout ceci on peut le dire est valable quel que soit le montage donc montage en étoile ou en triangle.

Notes

Summary

3m 57s

$$p = u_{ux} \cdot i_{ux} + u_{vy} \cdot i_{vy} + u_{wz} \cdot i_{wz}$$

$$u_{ux} = \sqrt{2}\, U_{ph} \sin(\omega t + \alpha)$$

$$i_{ux} = \sqrt{2}\, I_{ph} \sin(\omega t + \alpha - \varphi)$$

$$u_{vy} = \sqrt{2}\, U_{ph} \sin\left(\omega t + \alpha - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$i_{vy} = \sqrt{2}\, I_{ph} \sin\left(\omega t + \alpha - \varphi - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$u_{wz} = \sqrt{2}\, U_{ph} \sin\left(\omega t + \alpha - \frac{4\pi}{3}\right)$$

$$i_{wz} = \sqrt{2}\, I_{ph} \sin\left(\omega t + \alpha - \varphi - \frac{4\pi}{3}\right)$$

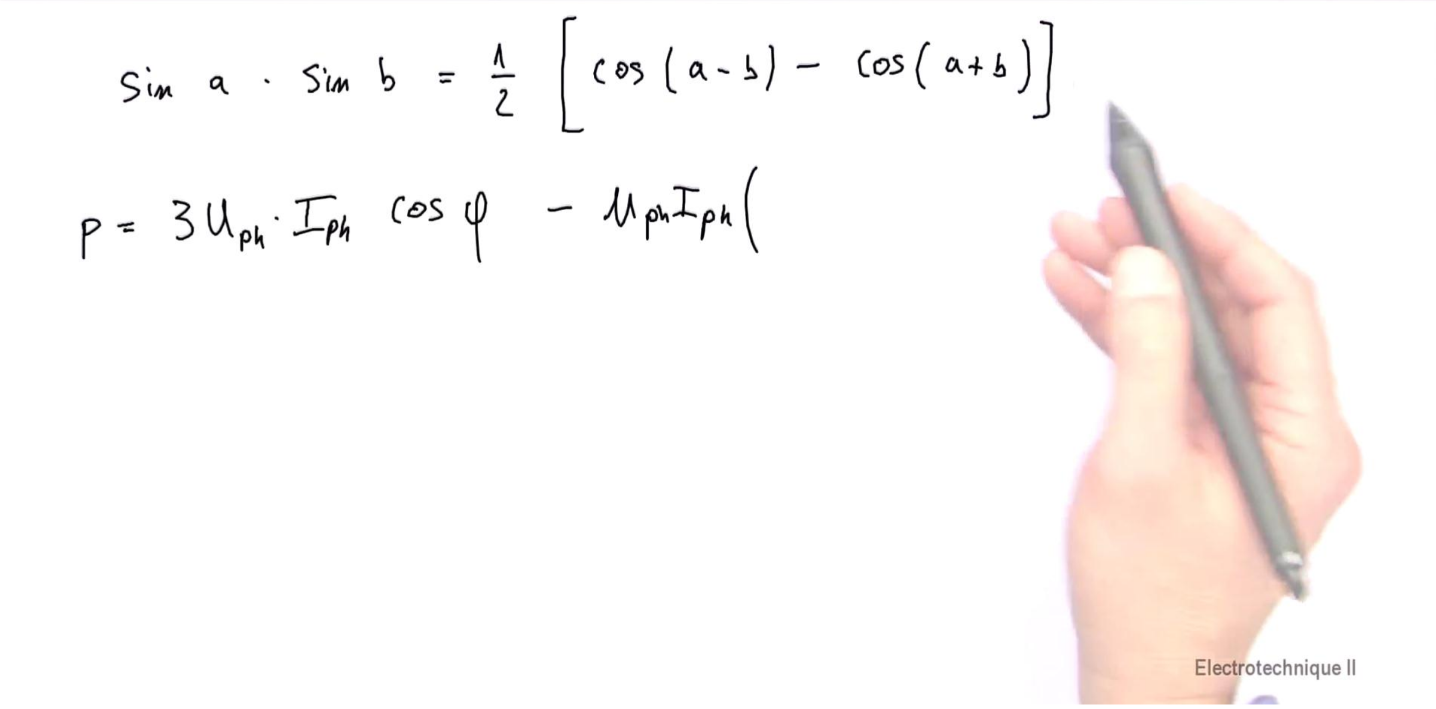
Nous allons maintenant nous intéresser à la puissance instantanée décrite précédemment, que je réécris ici. Chacune de ces grandeurs U, I et dans chacune des phases correspond à une équation qui décrit en fonction du temps la tension et le courant. Nous allons nous concentrer sur le premier terme U_ux et I_ux et nous décrirons de manière plus rapide les deux autres termes qui sont simplement chacun déphasés de 2π/3 et respectivement 4π/3. Pour la première tension U_ux par définition, nous savons que c'est un sinus ou un cosinus. Je vais décrire ici √2 tension de phase, ceci donne la tension de crête, et par exemple prenons le sinus de ωt plus un déphasage quelconque qui définira le zéro de la tension. Nous avons pour le courant de manière identique √2 fois le courant de phrase fois un sinus qui va être décalé d'un autre angle et qui va être soit β, soit (α - φ). On peut décrire les deux autres grandeurs U_vy et U_vz et les deux autres grandeurs de courant I_vy, I_vz de la manière suivante. Voilà, la puissance instantanée est la somme du produit de ces deux fonctions de ces deux fonctions et de ces deux fonctions. Tout ceci semble très compliqué ici et nous allons appliquer une formule trigonométrique relativement simple que je vais vous montrer ici.

Notes

Summary

5m 09s

PUISSANCE EN RÉGIME TRIPHASÉ



Nous savons que le sinus de a qui multiplie les sinus de b est en fait égal à une somme de cosinus. Cosinus de la différence des arguments moins le cosinus de la somme des arguments. Ceci peut paraître plus compliqué que précédemment, mais vous allez le voir tout ceci va simplifier grandement les choses. En additionnant maintenant tous les termes des précédents U, I trois fois que nous avons vu, on obtient alors : Tout d'abord nous faisons la différence des arguments. En faisant la différence des arguments nous avons chaque fois le terme ωt + α qui disparait. Dans chacun des éléments on fait toujours (a - b) et le ωt + α se retrouve dans chacun d'eux, donc il disparaît. On a donc cette puissance instantanée qui vaut au final, trois fois la tension de phase fois le courant de phase et, en fait, la différence des arguments, étant donné que le ωt plus α disparaît chaque fois il reste uniquement le cosinus de φ. On a ensuite un "moins" qui apparaît ici et ce "moins" va également être intéressant, puisqu'on à là une tension de phase, un courant de phase qui multiplient cette fois-ci la somme des arguments (a+b) et on à trois fois ceci. Alors je vais vous les écrire.

Notes

Summary

7m 20s

$$\sin a \cdot \sin b = \frac{1}{2}\left[\cos(a-b) - \cos(a+b)\right]$$

$$p = 3U_{ph} \cdot I_{ph} \cos\varphi - U_{ph} I_{ph} \underbrace{\Big(\cos(2\omega t + 2\alpha - \varphi) + \cos\left(2\omega t + 2\alpha - \varphi - \frac{4\pi}{3}\right) + \cos\left(2\omega t + 2\alpha - \varphi - \frac{2\pi}{3}\right)\Big)}_{0}$$

$$p = 3U_{ph} \cdot I_{ph} \cos\varphi = P$$

= constante égale à la puissance active

On à le cosinus de 2ωt plus 2α moins φ ensuite un autre cosinus de 2ωt plus 2α moins φ, moins 4π/3 et enfin encore un dernier cosinus de 2ωt plus 2α, moins φ et encore déphasé de -2π/3. Et bien tout ceci cette somme de trois cosinus parfaitement déphasés chacun de 2π/3 donne simplement zéro. En conclusion on voit que cette puissance instantanée, donc la puissance en fonction du temps se résume parce que nous avons ici dans le premier terme, trois fois tension de phase courant de phase, cos(φ), et ceci n'est autre que la puissance active qui est également, et c'est ça la grande constatation de cette leçon qui est une constante. Autrement dit, la puissance en fonction du temps est toujours une constante et égale à la puissance active. Ceci étant en imaginant une future utilisation d'un réseau triphasé d'une charge pour une conversion électromécanique, ceci signifie que en convertissant cette énergie électromécanique on peut réaliser ici un système qui transfert et qui transforme une puissance parfaitement constante et donc sans ondulation de couple ou sans couple pulsant sur la machine.

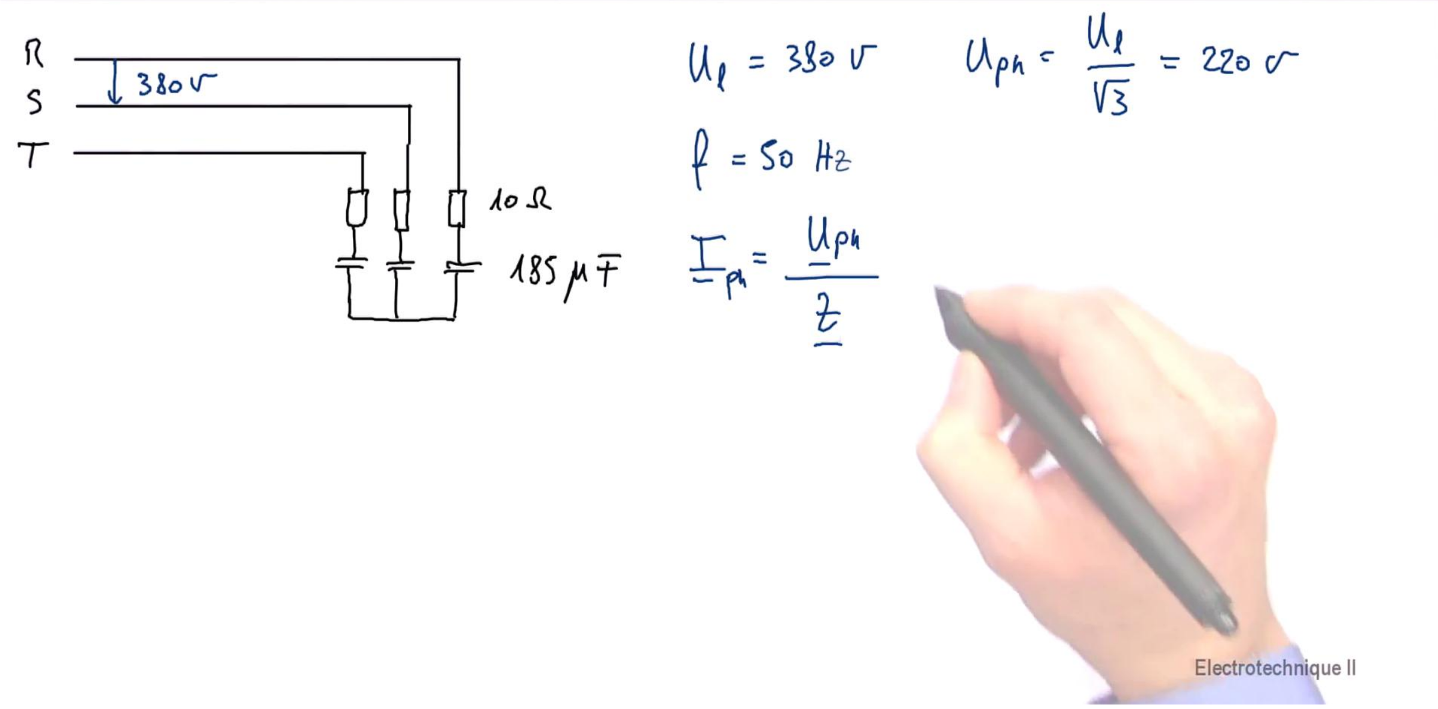
Notes

Summary

9m 01s

PUISSANCE EN RÉGIME TRIPHASÉ

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

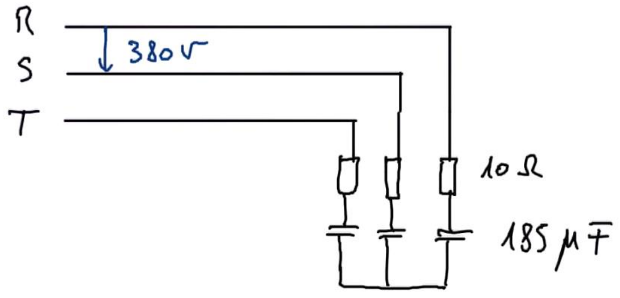


J'aimerais maintenant vous donner deux exemples qui vont vous montrer comment on peut calculer dans un exercice pratique les différentes puissances que nous venons de décrire. Nous allons donc tout d'abord prendre un premier exemple décrit de la manière suivante: nous allons brancher sur la ligne R, S et T trois charges tout à fait identiques et symétriques. Tout d'abord cette charge sera formée de trois résistances d'une valeur de 10 Ohm suivie d'une capacité d'une valeur de 185 μF. et donc nous connectons ici, ceci à un réseau triphasé symétrique. On donne ici différents éléments. Tout d'abord nous savons que la tension de ligne vaudra 380 V si la tension de ligne vaut 380 V je vous rappelle que la tension de phase vaut alors, dans un système monté en étoile comme ici √3 fois moins donc U_l sur √3, soit 220 V. On imagine avoir une fréquence de 50Hz et on demande de calculer les différentes puissances que nous avons en jeu dans ce système. Tout d'abord, on peut définir le courant de phase qui circule dans chacune de ces branches avec un phaseur différent ou un angle différent ce courant de phase sera égal à la tension de phase divisé par l'impédance Z. on peut donc écrire ici 220*e^j(α).

Notes

Summary

10m 51s



$U_l = 380\,V \qquad U_{ph} = \frac{U_l}{\sqrt{3}} = 220\,V$

$f = 50\,Hz$

$\underline{I}_{ph} = \frac{U_{ph}}{\underline{Z}} = \frac{220\, e^{j0}}{\underline{Z}_{ph}}$

$\underline{Z}_{ph} = 10 - j\frac{1}{\omega \cdot 185 \cdot 10^{-6}} = 10 - 17{,}2\,j = 19{,}9\, e^{j(-60°)}$

$\underline{I}_{ph} = \frac{220}{19{,}9}\, e^{j\frac{\pi}{3}}$

$P_{ph} = R \cdot I^2 = 10 \cdot 121 = 1{,}21\,kW$

$Q_{ph} = X\, I^2 = -\frac{1}{\omega C} \cdot I^2 = -17.2 \cdot 121 = -2{,}08\,kVar$

Electrotechnique II

Nous allons définir α comment étant zéro et la référence sur Z l'impédance de phase. On voit donc ici qu'il nous faut définir en premier lieu cette impédance de phase. Définissons Z_ph connue, puisque nous savons que c'est une résistance et une capacité soit 10 - j (1/ω) multiplié par 185*10^(-6). Ceci vaut aussi 10 - 17.2j ou alors avec la formule d'Euler 19,9*e^j(-60°). C'est négatif et c'est donc un bon contrôle puisque le système étant capacitif on doit bien obtenir une phase négative. Le courant de phase vaut donc 220V sur 19.9 et ceci, e^j fois 60° ou π/3. Que vaut alors la puissance ? On peut définir les trois formes de puissances: active, réactive apparente. On a donc la puissance active dans une des phases qui vaut simplement R*I^2 soit 10*121 et ceci donne 1.21 kW. On a le réactif dans une phase qui vaut x la réactance fois I^2 cette réactance qui est définie par la capacité, donc (-1/ωc) qui multiplie I^2 et qui vaut, avec les chiffres de cet exemple, 17.2*121 et c'est négatif, et c'est normal puisque nous avons une capacité, le réactif est négatif kilovoltampère réactif. Il nous reste maintenant à déterminer la puissance totale dans tout le système et pas que dans une des phases.

Notes

Summary

12m 46s

$$P_{tot} = 3\, P_{ph} = 3{,}63 \text{ KW}$$

$$Q_{tot} = 3\, Q_{ph} = -6{,}24 \text{ KVar}$$

$$S_{tot} = \sqrt{P^2 + Q^2} = 7{,}21 \text{ VA}$$

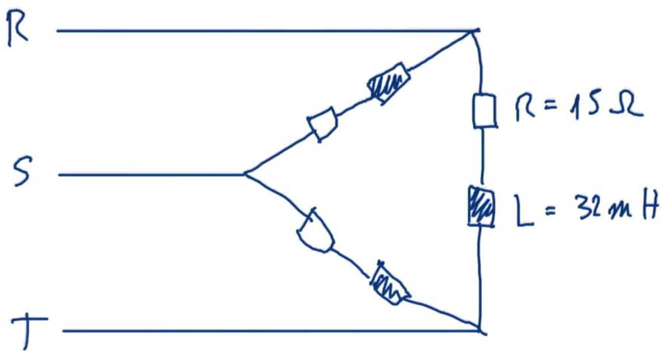
Electrotechnique II

La puissance totale est donc trois fois la puissance de phase soit, 3.63 kW. Le réactif total est simplement trois fois le réactif d'une phase soit -6,24 kVAR. Et enfin la puissance apparente totale qui, comme nous le savons, est égale à la puissance active au carré plus la puissance réactive au carré, donne 7,21 VA. On le voit donc il suffit de calculer uniquement les puissances sur une phase, et de simplement multiplier par 3 pour avoir les valeurs du circuit complet.

Notes

Summary

14m 48s



$$U_\ell = 380\,V$$

$$\underline{Z} = R + jX = R + j\omega L$$

$$= 15 + 10j$$

$$Z = \sqrt{15^2 + 10^2} = 18\,\Omega$$

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{15}{18} = 0,83$$

$$P = \sqrt{3}\, U_\ell \cdot I_\ell \cos\varphi$$

Electrotechnique II

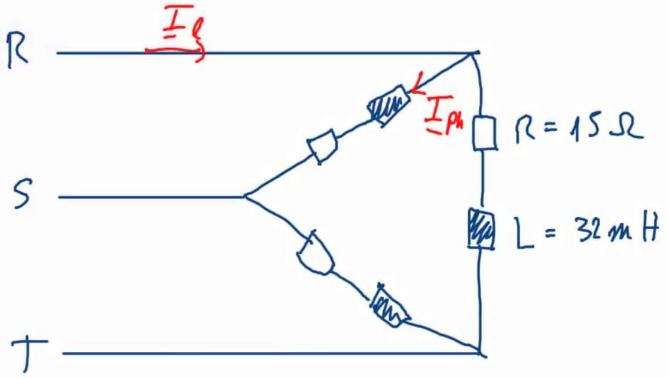
Un deuxième exemple cette fois-ci sur une charge en triangle va vous être proposer. Nous avons ici notre réseau triphasé sur lequel nous allons branché une charge symétrique, formée cette fois-ci d'une inductance et d'une résistance parfaitement symétriques évidemment. R sera égale à 15 Ohm, et L sera égale à 32 mH. Là aussi, on demande de calculer la puissance fournie par ce réseau sur cette charge, notons donc ici, R, S et T, et notons également que la tension de ligne vaut 380 V. On peut donc définir l'impédance Z, comme point de départ, qui vaut R+jx, soit R+jωL et ceci avec les valeurs chiffrées nous donne la valeur de 15 plus 10j. La norme de Z vaut donc √(15^2 + 10^2), soit environ 18 Ohm. Le cosinus de l'impédance, cos(φ) Vaut la partie réelle sur l'impédance totale et donc vaut 15/18 soit 0,83. Nous savons que la puissance active, donc ce qui est demandé dans cet exercice, est √3 tension de ligne, courant de ligne, cos(φ). Nous avons maintenant le cosinus de l'angle, nous avons le √3. Nous avons la tension de ligne, il nous manque le courant de ligne. Je vous rappelle que le courant de ligne est le courant qui circule par exemple ici dans cette ligne, et nous cherchons la valeur efficace, donc identique dans R, dans S ou dans T.

Notes

Summary

15m 37s

PUISSANCE EN RÉGIME TRIPHASÉ



$$U_\ell = 380\ V$$

$$\underline{Z} = R + jX = R + j\omega L$$
$$= 15 + 10j$$
$$Z = \sqrt{15^2 + 10^2} = 18\ \Omega$$
$$\cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{15}{18} = 0{,}83$$
$$I_\ell = I_{ph} \cdot \sqrt{3} = \frac{U_{ph}}{Z}\sqrt{3} = \frac{U_\ell}{Z} \cdot \sqrt{3} = 36{,}6\ A$$

$$P = \sqrt{3}\, U_\ell \cdot I_\ell \cos\varphi$$
$$= 20\ kW$$

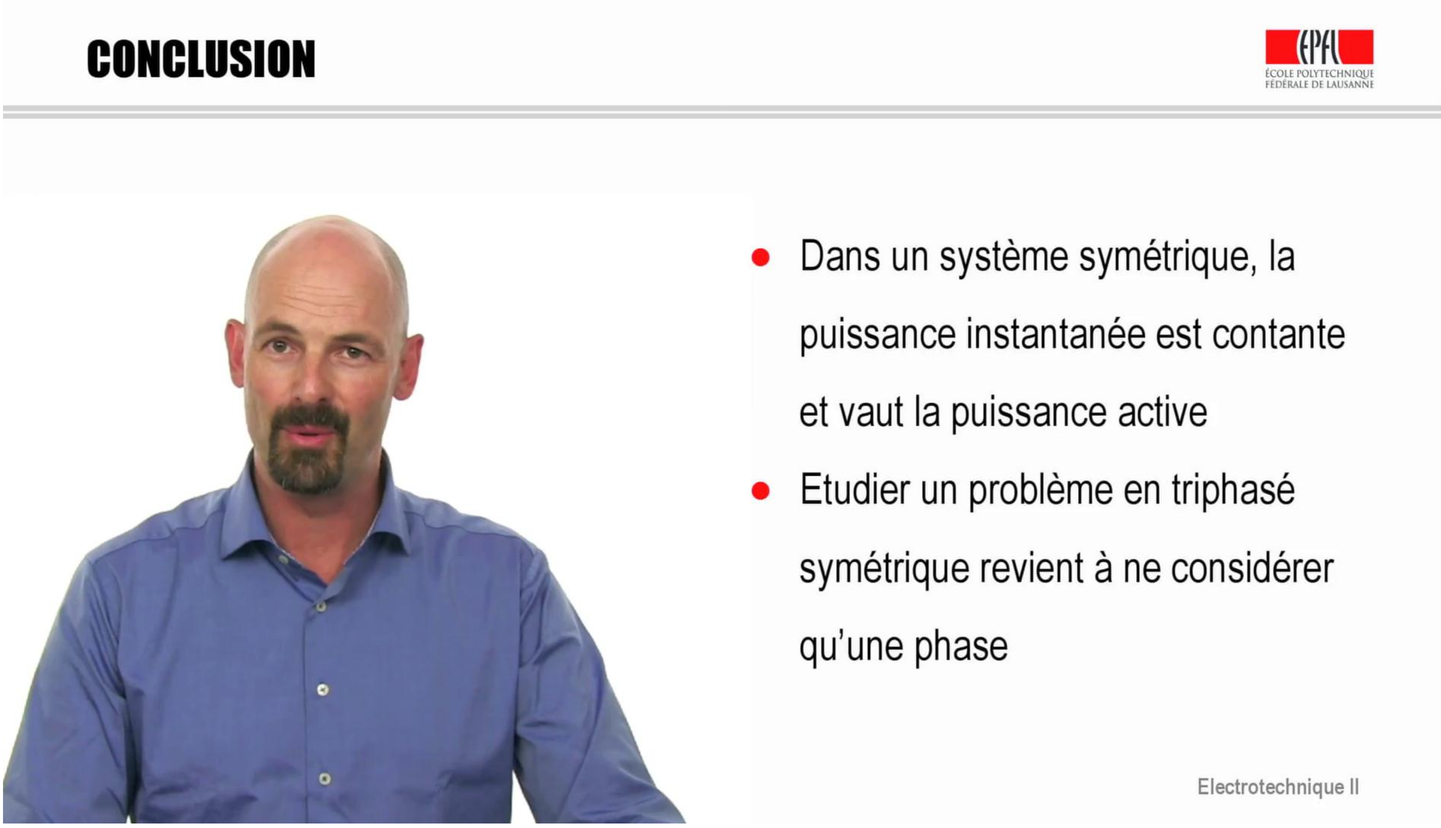
Electrotechnique II

Ce que nous savons c'est que le rapport entre la tension de ligne et la tension de phase ici dans la phase est √3. On peut donc écrire que le courant de ligne est égal, en valeur efficace, au courant de phase fois √3. Que vaut le courant de phase ? C'est la tension de phase sur Z la norme et donc toujours fois √3. Cette tension de phase, parce nous sommes en triangle est égale à la tension de ligne sur Z fois √3. Nous avons ici tous les éléments et ceci vaut 36,6 A. Et donc, au final on peut dire que notre puissance ici vaut, exactement, 20kW et ceci termine l'exercice où vous voyez encore une fois qu'en s'intéressant à une seule des impédances de la charge équilibrée on résout le système complet.

Notes

Summary

17m 47s



Pour conclure nous pouvons décrire deux éléments importants. Le premier est que dans tout système triphasé symétrique, connecté à une charge équilibrée, la puissance instantanée est toujours constante. Le deuxième point, c'est que pour résoudre un exercice de puissance sur un système triphasé on se concentre sur une des branches de la phase et on multiplie simplement par trois le résultat obtenu pour avoir la puissance dans l'ensemble du système. A bientôt.

Notes

Summary

18m 48s