

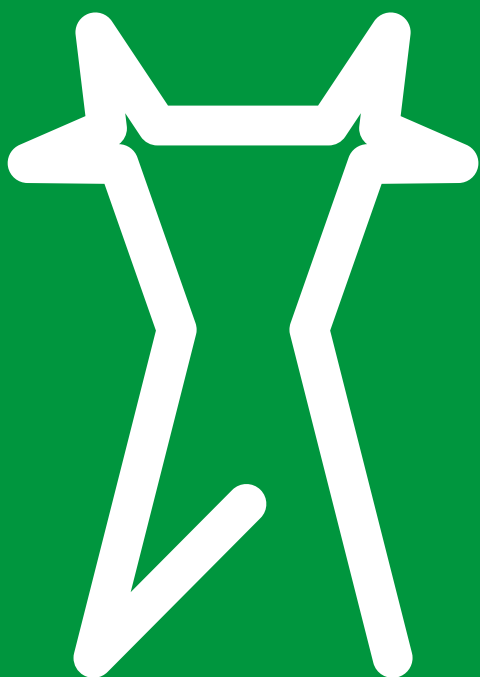
Efficacité Énergétique

Guide Technique

Comment sélectionner et entretenir les contacteurs
d'une batterie de condensateurs ?



Efficacité Energétique



Une solution pour
améliorer la compensation
du facteur de puissance

Contents

Préambule	4
Les avantages de la compensation d'énergie réactive.....	5
Tableau de choix des contacteurs et protection pour condensateur en gradin (sans self).....	7
La commande de gradin de condensateur est une application spécifique.....	7
Les contacteurs LC1D•K pour condensateurs	7
Maintenance	8
Programme de maintenance des condensateurs.....	8
Inspection visuelle des condensateurs.....	8
Spécificité de la manœuvre des condensateurs.....	9
Cas d'une batterie de compensation fixe unique	9
Choix de l'appareillage pour une batterie fixe.....	11
Cas d'une batterie en gradin.....	12
Choix de l'appareillage pour une batterie en gradin.....	13
A propos de la norme ?.....	14
Conclusion	15

Préambule

Définition du facteur de puissance

La puissance active P (kW) est la puissance réelle transmise aux charges telles que moteurs, lampes, radiateurs, ordinateurs. La puissance active électrique est transformée en puissance mécanique, chaleur ou lumière.



Le facteur de puissance est détérioré par :

- Dans un circuit où la tension efficace appliquée est V_{eff} et parcouru par un courant efficace I_{eff} , la **puissance apparente S (kVA)** est :
- **La valeur nominale d'un équipement électrique repose** sur la puissance apparente. Le **facteur de puissance λ** est le rapport de la puissance active P (kW) à la puissance apparente S (kVA).

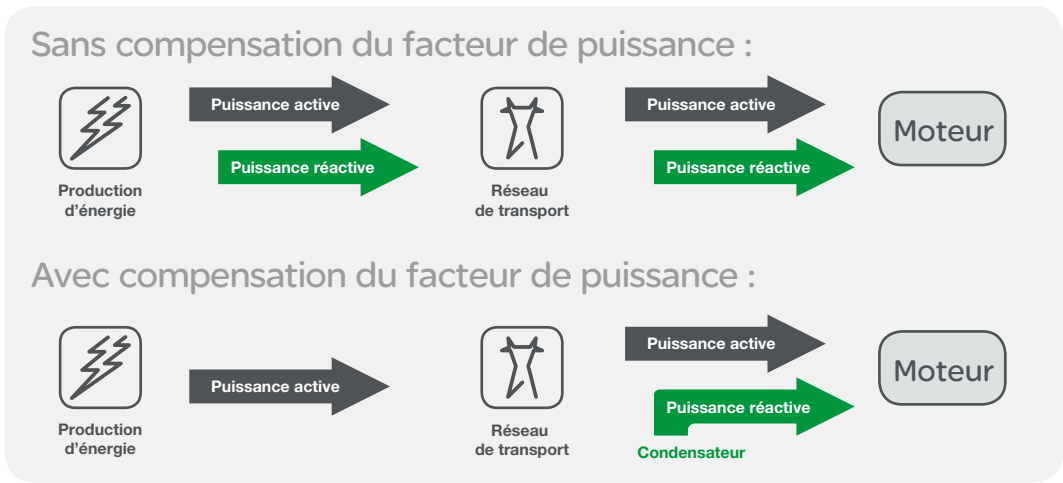
$$S = V_{rms} \times I_{rms}$$

$$\lambda = \frac{P (kW)}{S (kVA)}$$

- **la puissance réactive** (lorsque la tension et le courant sont déphasés)
- **les harmoniques** (lorsque la tension ou le courant présentent des distorsions).

Compensation de la puissance/l'énergie réactive

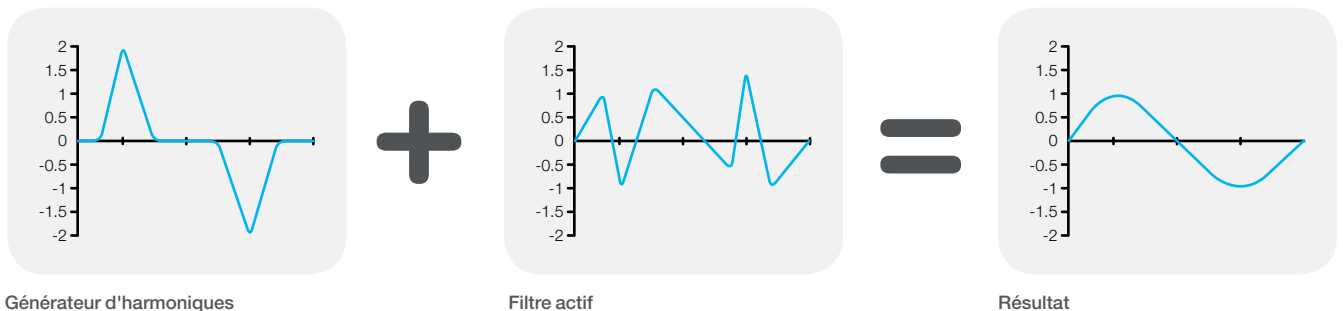
En règle générale, la facture d'électricité comporte des éléments liés à la puissance active et réactive consommée dans le temps (énergie active et réactive). L'énergie réactive est généralement compensée en produisant de l'énergie réactive à proximité des charges consommatrices, par le biais d'un raccordement de batteries de condensateurs au réseau. Ainsi, seule l'énergie active doit être fournie par le fournisseur d'énergie.



Atténuation des harmoniques

Le fonctionnement des filtres d'harmoniques actifs est identique à celui d'un casque d'écoute antibruit :

- Le filtre actif injecte des courants sur le réseau, éliminant ainsi la distorsion
- Les pertes de puissance et les perturbations sont réduites



Les avantages de la compensation d'énergie réactive

Avez-vous besoin d'une solution simple pour renforcer immédiatement l'efficacité énergétique et la productivité de votre installation ?

La compensation du facteur de puissance permet de réduire les frais d'exploitation et d'équipement et d'assurer un retour sur investissement très rapide :

- **Une réduction des dépenses d'équipement atteignant 30%**

Optimise la capacité des réseaux électriques, évite le surdimensionnement et limite la redondance de la capacité.

- **Une réduction des pénalités de facturation d'énergie réactive et une diminution des dépenses d'équipement atteignent 10%**

Améliore le facteur de puissance pour diminuer les factures d'électricité et réduire les pertes dans les transformateurs et les conducteurs.

- **Une diminution des pertes d'énergie jusqu'à 30%**

Optimise la puissance absorbée, réduit la consommation d'énergie totale du process et diminue les émissions de CO₂.

- **Une amélioration de la fiabilité du réseau électrique et des équipements atteignant 18%**

Augmente la qualité de l'énergie pour renforcer les performances commerciales et réduire les interruptions de service non programmées, mais aussi pour accroître la fiabilité et la durée de vie des équipements électriques, tout en réduisant les contraintes harmoniques et les dommages potentiels de votre réseau électrique.

Facteur de puissance	Coefficient multiplicateur de section de câble
1	1
0,95	1,05
0,9	1,1
0,85	1,17
0,8	1,25
0,7	1,43

Condensateurs fixes

Cette solution fait appel à un ou plusieurs condensateurs qui assurent un niveau de compensation constant. La commande peut s'effectuer ainsi :

- Manuel : par disjoncteur ou interrupteur-sectionneur
- Semi-automatique : par contacteur
- Connexion directe à un appareil.

Ces condensateurs sont appliqués aux points suivants :

- Aux bornes des appareils inductifs (moteurs et transformateurs)
- Aux jeux de barres alimentant de nombreux petits moteurs et aux appareils inductifs pour lesquels la compensation individuelle serait trop coûteuse
- Dans les cas où le niveau de charge est raisonnablement constant.

Batteries de condensateurs automatiques

Ce type d'équipement assure une commande automatique de la compensation, maintient le facteur de puissance dans des limites proches d'un niveau sélectionné. Un tel équipement est appliqué aux points d'une installation où les variations de puissance active et/ou de puissance réactive sont relativement importantes, par exemple :

- Aux jeux de barres d'un tableau de distribution électrique général
- Aux bornes d'un câble de départ fortement chargé.

Les avantages de la compensation d'énergie réactive

Principes et raisons du recours à la compensation automatique

Une batterie de condensateurs est divisée en un certain nombre de sections, dont chacune est commandée par un contacteur. La fermeture d'un contacteur met en fonctionnement la section correspondante parallèlement aux autres sections déjà en service.

La taille de la batterie peut ainsi être augmentée ou diminuée par des gradins, dont la fermeture et l'ouverture sont commandées par des contacteurs.

Un relais de commande surveille le facteur de puissance du ou des circuits commandés et il est disposé de manière à fermer et ouvrir les contacteurs appropriés pour faire en sorte que le facteur de puissance du système reste raisonnablement constant (dans les tolérances imposées par la taille de chaque gradin de compensation).

En adaptant étroitement la compensation à celle requise par la charge, on évite la production potentielle de surtensions lorsque la charge est faible, et par conséquent les dommages possibles des appareils et des équipements.

Les surtensions dues à une compensation réactive excessive dépendent en partie de la valeur de l'impédance source.

Le choix entre une batterie de condensateurs fixe ou à régulation automatique

Lorsque la puissance nominale kvar des condensateurs est inférieure ou égale à 15 % de la valeur nominale du transformateur d'alimentation, le recours à une valeur de compensation fixe est approprié. Au-dessus du seuil de 15 %, il est conseillé d'avoir une **batterie de condensateurs à commande automatique**.

L'emplacement de condensateurs à basse tension dans une installation constitue le mode de compensation. Celui-ci peut être global (un emplacement pour l'ensemble de l'installation), partiel (par secteur), local (au niveau de chaque appareil), ou une combinaison quelconque des deux derniers modes.

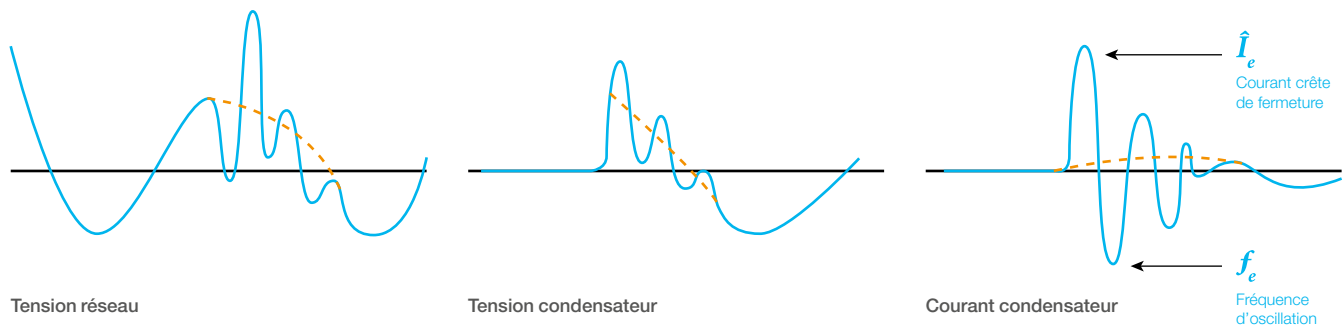
En principe, la compensation idéale est appliquée au point de consommation et au niveau requis à tout instant.

Dans la pratique, le choix est dicté par des facteurs économiques et techniques.

Tableau de choix des contacteurs et protection pour condensateur en gradin (sans self)

La commande de gradin de condensateur est une application spécifique

La commande de condensateurs est accompagnée d'un régime transitoire, résultant de la charge des condensateurs. Celle-ci peut engendrer une surintensité très importante, équivalent à un court-circuit de faible durée (voir détail page 9).



De telles surtensions transitoires hautes fréquences répétitives peuvent endommager l'isolement des condensateurs de compensation d'énergie réactive mais également d'autres équipements tels que les transformateurs.

Les contacteurs LC1D•K pour condensateurs

Les contacteurs LC1-D•K sont spécifiquement conçus pour la commande de condensateurs. Ils sont équipés d'un bloc de contacts de passage à fermeture et de résistances d'amortissement limitant le courant d'enclenchement. Cette technologie est unique et fait l'objet d'un brevet.



Référence	LC1DFK	LC1DGK	LC1DLK	LC1DMK	LC1DPK	LC1DTK	LC1DWK12
P _{max} @400 V θ ≤ 60°C	13 kVAR	16 kVAR	20 kVAR	25 kVAR	30 kVAR	40 kVAR	63 kVAR
Contacts auxiliaires	1NO + 2NC	1NO + 2NC	1NO + 2NC	1NO + 2NC	1NO + 2NC	1NO + 2NC	1NO + 2NC
Largeur	45 mm	45 mm	45 mm	45 mm	55 mm	55 mm	85 mm
Taille	1	1	2	2	3	3	4

Voir page 8 pour le choix des contacteurs et protection fusible associée en fonction des puissances de gradin.

Maintenance

Programme de maintenance des condensateurs

Il importe de vérifier l'efficacité de l'ensemble du système, et à cet égard il est nécessaire de procéder à la maintenance régulière des condensateurs et des appareillages de commande. Les conditions d'exploitation des **batteries de condensateurs automatiques** sont soumises à diverses contraintes environnementales, à savoir : fluctuations de température, contraintes électriques (harmoniques, courants d'appel transitoires).

Afin de garantir les performances de l'équipement pendant toute la durée de vie de l'installation, le programme de maintenance doit être exécuté systématiquement pour assurer le bon fonctionnement de l'équipement, préserver sa durabilité et éviter de graves pannes, explosion et incendies. **Tous les ans, veuillez contrôler les points suivants :**

Programme de maintenance		Quand	
Type de contrôle	Partie de la batterie de condensateurs	1 mois après la mise sous tension	Une fois par an
Inspection visuelle	Enveloppe		●
	Condensateurs		●
	Contrôleur		●
	Selfs éventuelles		●
	Contacteurs et résistances d'amortissement	●	●
	Câbles et connexions		●
Contrôle à la mise sous tension	Réglages / alarmes du contrôleur		●
	Réglages de la protection		●
	État des condensateurs		●
Contrôle à la mise hors tension	Serrage	●	●

Remarque : en mode batterie automatique, il se peut qu'un gradin soit tombé en panne mais que la compensation continue à fonctionner avec d'autres gradins. Dans cette configuration, la solution globale est satisfaisante mais à chaque fois que le gradin défaillant est mis en service, il s'ensuit des perturbations transitoires. L'inspection régulière est donc le seul moyen de détecter une défaillance.

Inspection visuelle des contacteurs

Les contacteurs, équipés d'un bloc de contacts de passage à préfermeture et de résistances d'amortissement (conducteurs résistifs externes), limitent la valeur du courant d'enclenchement à 60 In maxi. La limitation du courant d'enclenchement augmente la durabilité de tous les composants de l'installation, en particulier celles des fusibles et des condensateurs.

L'inspection visuelle consiste à :

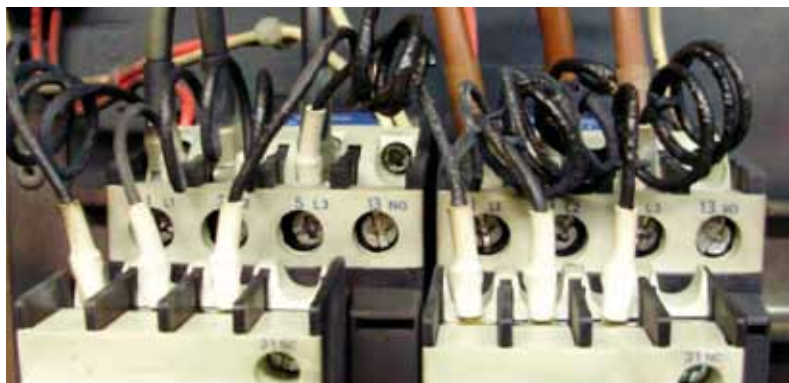
- vérifier la présence de résistances d'amortissement
- déterminer si une surchauffe a eu lieu
- examiner la présence de poussières, humidité ...
- contrôler visuellement les connexions électriques.

Si des résistances d'amortissement sont endommagées

ou manquantes :

- le contacteur doit être immédiatement remplacé.
- les condensateurs, commandés par le contacteur correspondant, doivent être contrôlés.

Si un condensateur est endommagé et remplacé, il faut également remplacer le contacteur correspondant.



Exemple de résistances d'amortissement endommagées

Lors du remplacement d'un contacteur, il est essentiel de respecter les règles suivantes :

- Utiliser des cosses adaptées
- Appliquer un couple de serrage conforme aux préconisations de Schneider Electric
- Manipuler les câbles résistifs avec précaution pour éviter tout dommage.
- Contrôler le couple de serrage 1 mois après la mise en service.

Spécificité de la manœuvre des condensateurs

La commande de condensateurs est accompagnée d'un régime transitoire, résultant de la charge des condensateurs. Celle-ci peut engendrer une surintensité très importante, équivalent à un court-circuit de faible durée.

Cas d'une batterie de compensation fixe unique *

* Batterie de compensation fixe unique : pas de perturbation, pas de précaution particulière

Le réseau amont est considéré comme une inductance pure L_a telle que :

$$L_a \omega = \frac{U_n^2}{S_{cc}} = \frac{U_n}{\sqrt{3} I_{cc}}$$

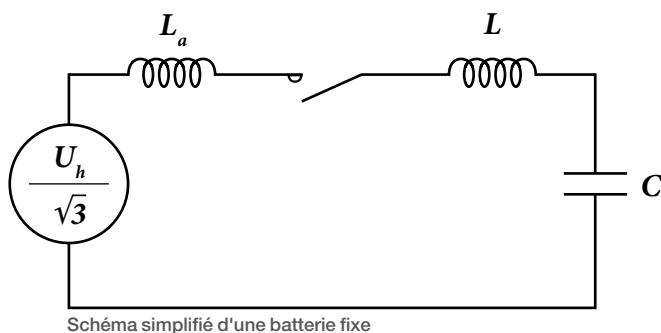
- U_n : tension composée nominale
- I_{cc} : courant de court-circuit triphasé symétrique au point de raccordement du condensateur
- S_{cc} : puissance de court-circuit au point de raccordement du condensateur

Par définition :

$$S_{cc} = \sqrt{3} \times U_n \times I_{cc}$$

La liaison reliant l'appareil de coupure (contacteur, disjoncteur ou interrupteur) à la batterie de condensateurs est considérée également comme une inductance pure.

Le schéma monophasé équivalent est celui de la figure suivante :



- L_a : inductance du réseau amont
- L : inductance de la liaison reliant l'appareil de coupure à la batterie de condensateurs.

On démontre que l'expression du courant crête d'enclenchement est :

$$\hat{I}_e = \sqrt{\frac{2}{3}} U_n \sqrt{\frac{C}{L_a + L}}$$



L est négligeable devant L_a d'où :

$$\hat{I}_e = \sqrt{\frac{2}{3}} U_n \sqrt{\frac{C}{L_a}}$$

Spécificité de la manoeuvre des condensateurs

La fréquence propre de ce courant est :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_a C}}$$

Sa durée est équivalente à la durée de la période transitoire d'un court-circuit, soit quelques dizaines de ms.

On peut comparer ce courant au courant nominal de la batterie :

$$I_{ncapa} = C\omega \frac{U_n}{\sqrt{3}}$$

d'où :

$$\frac{\hat{I}_e}{I_{ncapa}} = \sqrt{2} \times \frac{1}{\omega \sqrt{L_a C}}$$

En utilisant :

$$L_a \omega = \frac{U_n^2}{S_{cc}} \quad \text{et} \quad Q = C\omega U_n^2$$



On obtient :

$$\frac{\hat{I}_e}{I_{ncapa}} = \sqrt{2} \sqrt{\frac{S_{cc}}{Q}}$$

La surintensité s'accompagne d'une surtension dont la valeur nominale peut être proche de 2 fois la tension crête réseau.

Exemple :

Supposons une batterie fixe de 250 kvar de tension composée $U_n = 400 \text{ V}$ alimentée par un réseau de puissance de court-circuit maximal $S_{cc} = 20 \text{ MVA}$, on a :

$$\frac{\hat{I}_e}{I_{ncapa}} = \sqrt{2} \times \sqrt{\frac{S_{cc}}{Q}}$$



$$\frac{\hat{I}_e}{I_{ncapa}} = \sqrt{2} \times \sqrt{\frac{20 \cdot 10^6}{250 \cdot 10^3}} = 12,6$$

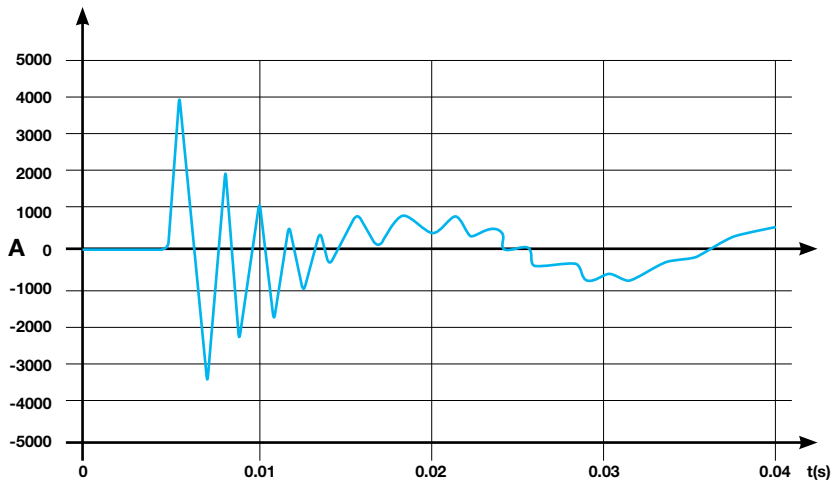
$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_a C}}$$



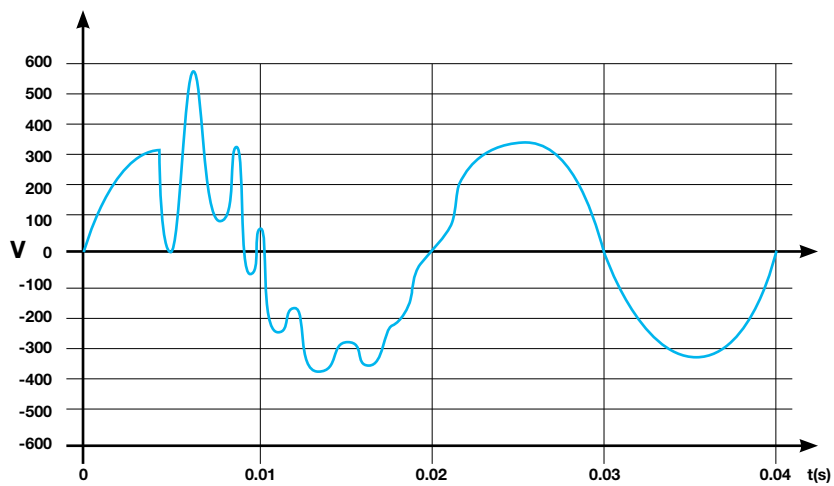
$$f_0 = \frac{\omega}{2\pi} \sqrt{\frac{S_{cc}}{Q}} = 50 \times \sqrt{\frac{20 \cdot 10^6}{250 \cdot 10^3}} = 447 \text{ Hz}$$

Le courant de crête d'enclenchement maximal vaut dans cet exemple 12,6 fois le courant nominal de la batterie, sa fréquence est 447 Hz.

Les figures suivantes représentent le courant d'enclenchement et la tension réseau, lorsque l'enclenchement a lieu au maximum de la tension.



Courant d'enclenchement



Tension réseau à l'enclenchement

Choix de l'appareillage pour une batterie fixe

Ces régimes transitoires n'apportent pas de contraintes excessives à l'appareillage de protection et/ou de contrôle.

Spécificité de la manoeuvre des condensateurs

Cas d'une batterie en gradin * (Ou plusieurs batteries fixes connectées sur le même jeu de barres.)

* Batterie en gradin : régime transitoire important, contacteur spécifique

Le schéma monophasé équivalent pour (n+1) gradins de condensateurs est celui de la figure suivante :

On démontre que l'expression du courant crête d'enclenchement est :

$$\hat{I}_e = \sqrt{\frac{2}{3}} \times \frac{n}{n+1} \times U_n \times \sqrt{\frac{C}{L}}$$

On peut comparer ce courant au courant nominal : I_{ncapa} :

$$I_{ncapa} = C\omega \frac{U_n}{\sqrt{3}}$$



On obtient :

$$\frac{\hat{I}_e}{I_{ncapa}} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times \frac{n}{n+1} \times U_n \times \frac{1}{\sqrt{Q\omega L}}$$

Avec : Q = puissance réactive d'un gradin.

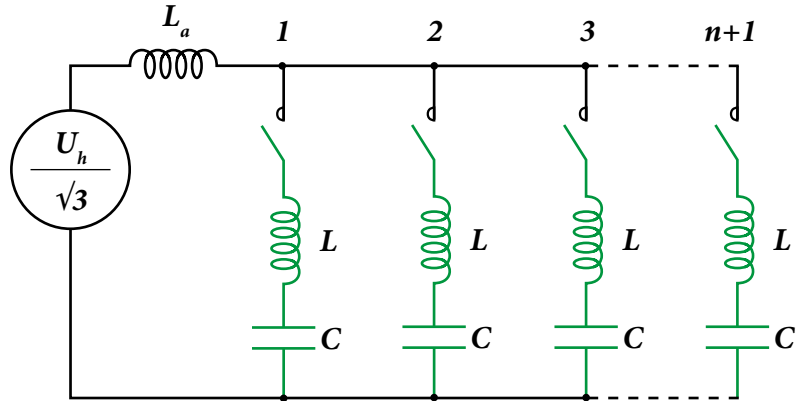


Schéma simplifié d'une batterie en gradins

L_a : inductance du réseau amont

L : inductance de la liaison reliant l'appareil de coupure à la batterie de condensateurs (0,5 μH/m)

Le courant crête d'enclenchement \hat{I}_e est maximal lorsque n gradins sont en service et que l'on enclenche le $(n+1)^{eme}$.

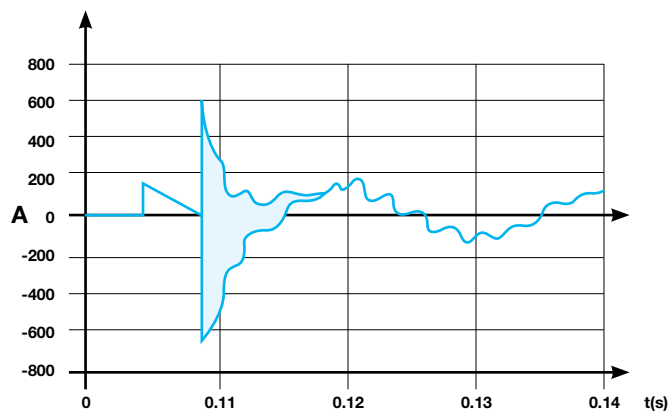
Les gradins en service se déchargent dans le gradin enclenché. Les inductances (L) étant très faibles, ce courant d'enclenchement est très important (il est indépendant de l'inductance du réseau L_a).

Exemple :

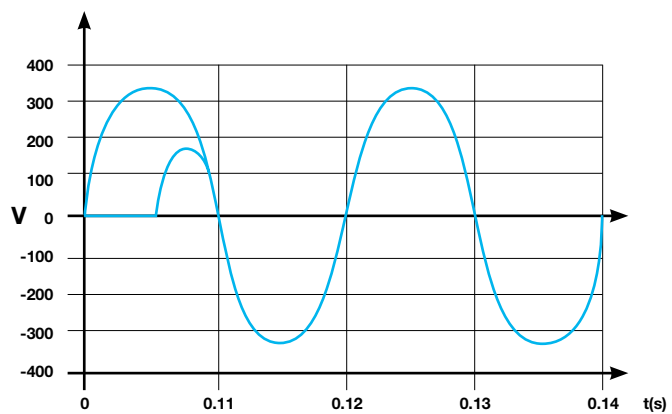
Supposons une batterie de 6 gradins de chacun 50 kvar, de tension composée 400 V, distants de 1 mètre de leur appareil de coupure associé. On a :

$$\frac{\hat{I}_e}{I_{ncapa}} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times \frac{n}{n+1} \times U_n \times \frac{1}{\sqrt{Q\omega L}} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times \frac{5}{6} \times 400 \times \frac{1}{\sqrt{50 \times 10^3 \times 314 \times 0.5 \times 10^6}} = 168$$

Le courant crête d'enclenchement maximal vaut dans cet exemple 168 fois le courant nominal d'un gradin de condensateurs. Ce courant très élevé ne peut pas être supporté par les condensateurs et les appareils de coupure, il faudra donc utiliser un dispositif limitant le courant d'enclenchement.



Courant dans le condensateur enclenché



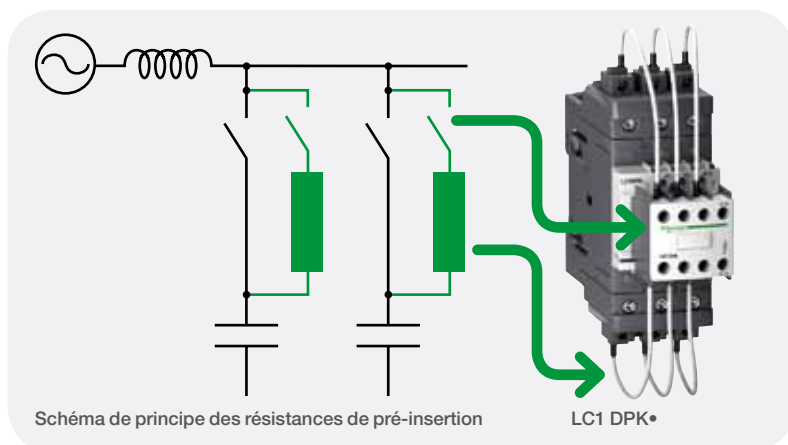
Tension aux bornes du condensateur enclenché et tension réseau

Remarque : s'il n'est pas possible d'utiliser des contacteurs spécifiques pour la commande de condensateurs, il faut prévoir l'utilisation de selfs de limitation des courants d'enclenchement.

Spécificité de la manœuvre des condensateurs

Choix de l'appareillage pour une batterie en gradin

La limitation des courants d'enclenchement est obtenue par des résistances de pré-insertion dont le principe est illustré sur la figure suivante :



Chaque gradin de condensateurs doit être commandé par un contacteur équipé de contacts auxiliaires. Des résistances sont connectées en série avec les contacts auxiliaires.

À la fermeture du contacteur, les contacts auxiliaires sont fermés instantanément, ce qui autorise la précharge au travers des résistances. Après 3 ms environ, les contacts principaux se ferment, court-circuitant les résistances, pour aboutir finalement à la réouverture de contacts auxiliaires.

Avec de tels contacteurs, il est inutile d'utiliser des selfs aussi bien dans le cas d'une batterie de condensateurs à un seul gradin que dans le cas d'une batterie à gradins multiples.

Puissance du gradin à 400 V kVAR	Courant du gradin 400 V	Calibre de la protection fusible (courbe gG)	Contacteur pour appli. condensateur	Qmax 400 V $\Theta \leq 60^\circ\text{C}$
2,5	3,6	6,3 A	LC1 DFK●●	-
5	7,2	16 A	LC1 DFK●●	-
6,25	9,0	16 A	LC1 DFK●●	-
7,5	10,8	20 A	LC1 DFK●●	-
10	14,4	25 A	LC1 DFK●●	-
12,5	18,0	32 A	LC1 DFK●●	13 kVAR
15	21,7	40 A	LC1 DGK●●	16 kVAR
20	28,9	50 A	LC1 DLK●●	20 kVAR
25	36,1	63 A	LC1 DMK●●	25 kVAR
30	43,3	80 A	LC1 DPK●●	30 kVAR
40	57,7	100 A	LC1 DTK●●	40 kVAR
45	65,0	125 A	LC1 DWK12●●	-
50	72,2	125 A	LC1 DWK12●●	-
60	86,6	160 A	LC1 DWK12●●	63 kVAR

Les puissances indiquées dans le tableau de choix ci-dessus, s'entendent dans les conditions suivantes :

Courant de crête d'enclenchement présumé

- LC1 D●K 200 In

Fréquence de manœuvre maximale

- LC1 DFK, DGK, DLK, DMK 240 cycles de manœuvres/heure
- LC1 DPK, DTK, DWK 100 cycles de manœuvres/heure

Durabilité électrique à charge nominale à 400 V

- LC1 D●K 300 000 cycles de manœuvres

A propos de la norme ?

La norme IEC60831-1 "Condensateurs shunt de puissance autorégénérateurs pour réseaux à courant alternatif de tension assignée inférieure ou égale à 1 000 V" prévoit l'utilisation de tels contacteurs.

Conclusion

La performance des batteries de compensation d'énergie réactive est essentielle à la performance énergétique globale de l'installation.



La défaillance de ces équipements ne se détectent pas facilement car ils ne sont pas une composante indispensable du réseau de distribution électrique.

Il faut souvent prendre connaissance de l'augmentation de la facture énergétique pour s'apercevoir que la compensation d'énergie réactive n'est plus opérationnelle.

De plus, comme nous l'avons spécifié précédemment, ces dysfonctionnements éventuels peuvent générer des dégradations dans l'installation. Pour ces raisons, l'inspection périodique de ces équipements est très importante et ne doit pas être ignorée.

Make the most of your energy™

www.schneider-electric.com

* Tirez le meilleur partie de votre énergie

Schneider Electric Industries SAS

35, rue Joseph Monier
CS 30323
F- 92506 Rueil Malmaison Cedex
France

RCS Nanterre 954 503 439
Capital social 896 313 776 €
www.schneider-electric.com

*En raison de l'évolution des normes et du matériel,
les caractéristiques indiquées par les textes
et les images de ce document ne nous engagent
qu'après confirmation par nos services.*

Publication : Schneider Electric Industries SAS
Photos : Schneider Electric Industries SAS
Impression :



Ce document a été imprimé
sur du papier écologique.