

DIRECTIVES TECHNIQUES POUR LES **INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES À BASSE TENSION**



Remerciements

Ces directives techniques AFSEC pour les installations électriques basse tension ont été élaborées par le comité technique 64 d'AFSEC avec le soutien du Secrétariat d'AFSEC; PTB (Allemagne); les Comités nationaux de CEI; Organismes Nationaux de Normalisation et Organismes de Réglementation des pays membres qui ont soutenu financièrement le Comité et ont approuvé la participation des divers experts. Leurs immenses contributions sont reconnues.

L'équipe d'ATC64 qui a assuré la mise en place du projet comprend;

1. Cyrus **KHALUSI**
Président – Kenya
2. **ALEWU** Achema
Secrétaire – Nigéria
3. Emil **KUHANGA**
Membre – Namibie
4. Etienne **BLAMY**
Membre – Côte d'Ivoire
5. Izaiah **MULANGA**
Membre – Zambie
6. Ahmed Abdel **AZIM**
Membre – Égypte
7. Stephen **AMOAH**
Membre – Ghana
8. Gauthier Mpanga **MBUYA**
Membre – RDC
9. Olivier **MUKESHIMANA**
Membre – Rwanda
10. Tom **SIMIYU**
Membre – Kenya



DIRECTIVES TECHNIQUES POUR LES **INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES À BASSE TENSION**

Table des Matières

Remerciements	2
Table des Matières	4
Avant-propos	6
Introduction	7
1 Champ d'Application	8
2 Références Normatives	9
3 Termes et Définitions	12
4 Statuts et Règlements Généraux pour les Installations Électriques	12
5 Conception, Dimensionnement et Protection des Conducteurs	12
5.1 Conception des Installations	12
5.2 Méthodologie	12
6 Guide de Choix d'Architecture Basse Tension (BT) pour les Bâtiments	13
6.1 Inspection des Essais	13
7 Raccordement au Réseau de Distribution Publique à BT	15
7.1 Emplacement des compteurs	16
8 Emplacements Résidentiels et Autres Emplacements Spéciaux	16
8.1 Composants des Tableaux de Distribution	16
9 Circuits.....	16
10 Emplacements Spéciaux	16
11 Distribution BT	17
11.1 Connexions de mise à la terre	17
12 Connexions	18
12.1 Système principal de liaison équipotentielle	18
12.2 Connexions équipotentielles supplémentaires	18
12.3 Connexion des éléments conducteurs exposés à la(aux) prise(s) de terre	18
12.4 Composants	18
12.5 Définition des schémas de liaisons à la terre normalisés	18
12.6 Avantages et Inconvénients:	19
13 Schéma TT (neutre à la terre)	19
13.1 Schémas TN (éléments conducteurs exposés raccordés au neutre)	19
14 Schéma TN-C	19
15 Schéma TN-S	20
16 Schéma TN-C-S	20
17 Schéma IT (neutre isolé ou neutre impédant)	20
17.1 Schéma IT (neutre isolé)	20
17.2 Schéma IT (neutre impédant)	20
18 Caractéristiques des schémas TT, TN et IT	21
18.1 Caractéristiques principales	21
19 Schéma TN	21
19.1 Caractéristiques principales	21
20 Schéma IT.....	22
20.1 Technique de protection	22
21 Critères de choix des schémas TT, TN et IT	23
21.1 Fractionnement de source	23
21.2 Îlotage.....	23
22 Méthodes de distribution and d'installation	24
23 Canalisation préfabriquée (busways)	24
23.1 Dimensionnement des systèmes de canalisation électrique préfabriquée	24
23.2 Les Différents Types de Canalisation Préfabriquée:	25
23.3 Normes	26
24 Courant Neutre et Facteur de Charge dans les Systèmes Triphasés à 4 Fils	27
24.1 Effets des courants harmoniques sur les courants de circuit	27
25 Protection Contre les Surtensions	28
25.1 Foudre.....	28
25.2 Principe de la protection contre la foudre	28
25.3 Procédure de prévention des risques de foudroiement	28
25.4 Système de protection du bâtiment	28
25.5 Les 3 types de dispositif paratonnerre	28
25.6 Dispositifs de Protection par Parafoudre (Parafoudre)	29

26	Efficacité Énergétique dans les Installations Électriques BT	30
26.1	Diagnostics Énergétiques	30
26.2	Normes d'Efficacité Énergétique	30
27	Compensation du Facteur de Puissance	31
27.1	Pertinence de la Compensation du Facteur de Puissance	31
28	Gestion des Harmoniques	32
28.1	Perturbations dues aux harmoniques	32
28.2	Principaux risques associés aux harmoniques :	32
28.3	Impact économique des perturbations	32
28.4	Une préoccupation nécessaire pour la conception et la gestion des installations électriques	32
28.5	Principaux effets des harmoniques dans les installations électriques	32
28.6	Normes applicables en gestion des harmoniques	33
28.7	Normes d'équipement	33
28.8	Solutions pour atténuer les harmoniques	33
28.9	Diagnostic Harmonique de Réseaux MT et BT	34
28.10	Caractéristiques des sources et récepteurs	34
29	Protection contre les surcharges	34
29.1	Tableaux divisionnaires	35
29.2	Tableau général basse tension (TGBT)	35
29.3	Sécurité des personnes	35
29.4	Calcul du courant de défaut d'isolement	35
29.5	Les fonctions de contrôle	36
29.6	Redémarrage et ré-accélération du moteur	36
29.7	Charges non linéaires – Exemple d'une ASI	36
30	Alimentation Sans Interruption (ASI)	37
30.1	Types d'ASI statiques	38
30.2	ASI Fonctionnant en Mode Attente-Passive (Off-Line)	39
30.3	Utilisation	39
30.4	ASI Fonctionnant en Mode Interaction avec le Réseau (line interactive)	40
30.5	Batteries	41
30.6	Choix du Type de Batterie	41
30.7	Choix de l'Autonomie	42
30.8	Très forte puissances	42
30.9	Modes d'installation	42
30.10	Les Schémas de Liaisons à la Terre des Installations avec ASI	42
30.11	Protection contre les contacts directs (cf. Tableau 3)	43
30.12	Points essentiels à vérifier pour les ASI	43
30.13	Choix de schémas de protection	43
30.14	Choix des disjoncteurs	43
31	Alimentations de Remplacement	46
31.1	Général	46
31.2	Exigences pour les sources de remplacement d'alimentation	46
32	Mesures	47
32.1	Qualité de l'énergie réseau	47
32.2	Facturation	47
32.3	Répartition des Coûts, Vérification de Facture et Sous-Facturation	48
32.4	Dispositif de Mesure et de Surveillance du Réseau Électrique (PMD)	49
32.5	Fonctions des PMD	49
33	Marquage	50
33.1	Incertitude sur une plage de mesure	50
33.2	Incertitude intrinsèque	50
33.3	Incertitude d'exploitation	50
33.4	Incertitude globale du système	50
Appendix A: Tableaux		51

Avant-propos

La Commission Électrotechnique Africaine de Normalisation a été créée, notamment, pour améliorer le bien-être de la population africaine, principalement par la promotion, le développement et l'application des normes harmonisées sur tout le continent afin d'améliorer l'accès à l'électricité. Pour atteindre ces objectifs, l'AFSEC a pour mission:

- Identifier les normes existantes et hiérarchiser les besoins de membres de l'AFSEC en matière de normalisation;
- Harmoniser les normes existantes, par l'adoption des normes internationales, ou en cas de besoin, les adapter aux conditions africaines;
- Identifier, en cas de besoin, les projets normes à concevoir par les membres de l'AFSEC aux fins d'adoption;
- Faire des recommandations sur les normes harmonisées aux fins de mise en œuvre par les organes Réglementaire compétentes.
- Reconnaître les besoins d'un guide approprié pour l'installation électrique en Afrique, AFSEC TC 64, qui est un comité parallèle de Commission Électrotechnique Internationale TC 64, a été chargé d'élaborer des Directives Techniques pour les Installations Électriques à Basse Tension. Le comité a décidé de faire référence aux réglementations et normes de CÉI existantes pour faciliter le projet.

Introduction

La consommation mondiale d'énergie a récemment augmenté avec l'augmentation de la population mondiale. En effet, cela a également affecté négativement les pays africains. C'est nécessaire d'assurer un approvisionnement en électricité propre, fiable et durable en Afrique puisque c'est essentiel au développement socio-économique du continent. Cela doit être sans risque notable pour l'équipement, l'environnement et tous les utilisateurs, que ce soit l'alimentation en énergie du réseau, hors réseau ou d'autres sources d'alimentation.

Cette action nécessite des efforts associés au sein des régions, étant donné que les pays s'interconnectent et s'engageant dans des projets qui permettront de sécuriser l'avenir et d'améliorer le bien-être de leurs populations.

C'est impératif de traiter les problèmes mondiaux impérieux tels que la migration rurale-urbaine et le changement climatique, qui ont eu un impact négatif sur les besoins énergétiques des populations. Le gouvernement devrait rendre accessible l'électricité propre, fiable et abordable à leurs domaines ruraux respectifs. Cela peut être possible grâce à la fourniture de sources d'énergie alternatives hors réseau pour servir à la fois les desservis et les non desservis.

La directive AFSEC fournie est basée sur le Guide d'Installation Électrique conformément aux normes CEI et aux séries de normes CEI60364 structurées pour tenir compte des règlements des pays; Nigéria (NESIS), Zambie (ZS 791), Afrique du Sud (SABS 0142), Côte d'Ivoire (NFC15-100), RDC (NFC15-100), RDC (NFC15-100) et Kenya (KS 662) si nécessaire. Autrement, le contenu du document de référence principal reste inchangé.

Compte tenu des activités de mise en tampon qui résulteront de la fourniture d'électricité à la population, la sécurité concernant la mise en œuvre du guide AFSEC (ATC64) à travers le déploiement des équipements électriques nécessitera l'utilisation des méthodes et moyens appropriés pour prévenir les accidents et les pertes de vies et de biens.

Dans les domaines des installations électriques, la disponibilité des normes et le respect de leurs exigences sont des besoins essentiels pour les Africains car, au regard de la rareté d'énergie, la gestion du peu d'énergie disponible grâce aux exigences des installations électriques améliorera également l'efficacité énergétique, la sécurité de vies et des biens, l'émancipation économique des individus et des nations et bien sûr de profiter des magnifiques merveilles de l'ingénierie moderne.

1 Champ d'Application

Cette directive technique pour les installations électriques à basse tension est pour fournir aux techniciens, ingénieurs et autres personnes en électricité une référence rapide et un outil de travail à utilisation immédiate. C'est destiné aux professionnels en l'électricité dans les entreprises, les bureaux d'études et les organismes d'inspection.

Ce guide documentaire couvre les techniques et les normes relatives aux installations électriques à basse tension.

Le guide fournit un aperçu des normes et règlements appropriés pour l'application des installations électriques à basse tension en Afrique.

Il ne remplace pas les manuels ou les normes techniques. Ce document doit être utilisé conjointement avec les normes CEI et les normes d'AFSEC, les codes et règlements nationaux.

2 Références Normatives

Ce guide est basé sur les règlements des membres de l'AFSEC et les normes CEI pertinentes, en particulier CEI 60364. CEI 60364 a été établie par des experts en ingénierie de tous les pays du monde, en comparant leur expérience au niveau international. Actuellement, les

principes de sécurité des séries CEI 60364, CEI 61140, 60479 et CEI 61201 sont les principes fondamentaux de la plupart des normes électriques dans le monde et sont ainsi référencés (voir tableau ci-dessous et la page suivante).

CEI 60364-1 Installations électriques à basse tension – Principes fondamentaux, détermination des caractéristiques générales, définitions

CEI 60364-4-41 Installations électriques à basse tension – Protection pour assurer la sécurité – Protection contre les chocs électriques

CEI 60364-4-42 Installations électriques à basse tension – Protection pour assurer la sécurité – Protection contre les effets thermiques

CEI 60364-4-43 Installations électriques à basse tension – Protection pour assurer la sécurité – Protection contre les surintensités

CEI 60364-4-44 Installations électriques à basse tension – Protection pour assurer la sécurité – Protection contre les perturbations de tension et les perturbations électromagnétiques

CEI 60364-5-51 Installations électriques à basse tension – Choix et mise en oeuvre des matériels électriques – Règles communes

CEI 60364-5-52 Installations électriques à basse tension – Choix et mise en oeuvre des matériels électriques – Canalisations

CEI 60364-5-53 Installations électriques à basse tension – Choix et mise en oeuvre des matériels électriques – Sectionnement, coupure et commande

CEI 60364-5-54 Installations électriques à basse tension – Choix et mise en oeuvre des matériels électriques – Liaison à la terre et conducteurs de protection

CEI 60364-5-55 Installations électriques à basse tension – Choix et mise en oeuvre des matériels électriques – Autres matériels

CEI 60364-6 Installations électriques à basse tension – Vérification

CEI 60364-7-701 Installations électriques à basse tension – Règles pour les installations et emplacements spéciaux – Emplacements contenant une baignoire ou une douche

CEI 60364-7-702 Installations électriques à basse tension – Exigences pour les installations ou emplacements spéciaux – Piscines et fontaines

CEI 60364-7-703 Installations électriques à basse tension – Exigences pour les installations ou emplacements spéciaux – Locaux contenant des radiateurs pour saunas

CEI 60364-7-704 Installations électriques à basse tension – Exigences pour les installations ou emplacements spéciaux – Installations de chantiers de construction et de démolition

CEI 60364-7-705 Installations électriques à basse tension – Exigences pour les installations ou emplacements spéciaux – Établissements agricoles et horticoles

CEI 60364-7-706 Installations électriques à basse tension – Exigences pour les installations ou emplacements spéciaux – Enceintes conductrices exigües

CEI 60364-7-708 Installations électriques à basse tension – Exigences pour les installations ou emplacements spéciaux – Parcs de caravanes, parcs de camping et emplacements analogues

CEI 60364-7-709 Installations électriques à basse tension – Exigences pour les installations ou emplacements spéciaux – Marinas et emplacements analogues

CEI 60364-7-710 Installations électriques à basse tension – Exigences pour les installations ou emplacements spéciaux – Locaux à usages médicaux

CEI 60364-7-711 Installations électriques à basse tension – Exigences pour les installations ou emplacements spéciaux – Expositions, spectacles et stands

CEI 60364-7-712 Installations électriques à basse tension – Exigences pour les installations ou emplacements spéciaux – Alimentations photovoltaïques solaires (PV)

CEI 60364-7-713 Installations électriques à basse tension – Exigences pour les installations ou emplacements spéciaux – Mobilier

CEI 60364-7-714 Installations électriques à basse tension – Exigences pour les installations ou emplacements spéciaux – Installations d'éclairage extérieur

CEI 60364-7-715 Installations électriques à basse tension – Exigences pour les installations ou emplacements spéciaux – Installations d'éclairage à très basse tension

CEI 60364-7-717 Installations électriques à basse tension – Exigences pour les installations ou emplacements spéciaux – Unités mobiles ou transportables

CEI 60364-7-718 Installations électriques à basse tension – Exigences pour les installations ou emplacements spéciaux – Établissements recevant du public et lieux de travail

CEI 60364-7-721 Installations électriques à basse tension – Exigences pour les installations ou emplacements spéciaux – Installations électriques dans les caravanes et caravanes à moteur

CEI 60364-7-729 Installations électriques à basse tension – Exigences pour les installations ou emplacements spéciaux – Passages d'entretien ou de service

CEI 60364-7-740 Installations électriques à basse tension – Exigences pour les installations ou emplacements spéciaux – Installations électriques temporaires de structures, jeux et baraques dans des champs de foire, des parcs de loisirs et des cirques

CEI 60364-7-753 Installations électriques à basse tension – Exigences pour les installations ou emplacements spéciaux – Systèmes de chauffage par sol ou plafond

CEI 60364-8-1 Installations électriques à basse tension – Efficacité énergétique

CEI 60755 Exigences générales pour les dispositifs de protection à courant différentiel résiduel

CEI/TS 61439-0 Ensembles d'appareillage à basse tension – Guide de spécification des ensembles

CEI 61439-1 Ensembles d'appareillage à basse tension – Règles généraux

CEI 61439-2 Ensembles d'appareillage à basse tension – Ensembles d'appareillages de puissance

CEI 61439-3 Ensembles d'appareillage à basse tension – Tableaux de répartition destinés à être utilisés par des personnes ordinaires (DBO)

CEI 61439-4 Ensembles d'appareillage à basse tension – Exigences particulières pour ensembles de chantiers (EC)

CEI 61439-5 Ensembles d'appareillage à basse tension – Ensembles pour réseaux de distribution publique

CEI 61439-6 Ensembles d'appareillage à basse tension – Systèmes de canalisation préfabriquée (CEP)

CEI 61557-1 Sécurité électrique dans les réseaux de distribution basse tension de 1000 V c.a. et 1500 V c.c. – Dispositifs de contrôle, de mesure ou de surveillance de mesures de protection – Exigences générales

CEI 61557-8 Sécurité électrique dans les réseaux de distribution basse tension de 1000 V c.a. et 1500 V c.c. – Dispositifs de contrôle, de mesure ou de surveillance de mesures de protection – Contrôleurs d'isolement pour réseaux IT

CEI 61557-9 Sécurité électrique dans les réseaux de distribution basse tension de 1000 V c.a. et 1500 V c.c. – Dispositifs de contrôle, de mesure ou de surveillance de mesures de protection – Dispositifs de localisation de défauts d'isolement pour réseaux IT

CEI 61557-12 Sécurité électrique dans les réseaux de distribution basse tension de 1000 V c.a. et 1500 V c.c. – Dispositifs de contrôle, de mesure ou de surveillance de mesures de protection – Dispositifs de mesure et de surveillance des performances (PMD)

CEI 61558-2-6 Sécurité des transformateurs, bobines d'inductance, blocs d'alimentation et produits analogues pour des tensions d'alimentation jusqu'à 1100 V – Règles particulières et essais pour les transformateurs de sécurité et les blocs d'alimentation incorporant des transformateurs de sécurité

CEI 61643-11 Parafoudres basse tension – Parafoudres connectés aux réseaux de distribution basse tension – Exigences et méthodes d'essais

CEI 61643-12 Parafoudres basse tension – Parafoudres connectés aux réseaux de distribution basse tension – Principes de choix et d'application

CEI 61643-21 Parafoudres basse tension – Parafoudres connectés aux réseaux de télécommunications et de signalisation – Prescriptions de fonctionnement et méthodes d'essais

CEI 61643-22 Parafoudres basse tension – Parafoudres connectés aux réseaux de télécommunications et signalisation – Principes de choix et d'application

CEI 61921 Condensateurs de puissance – Batterie de compensation du facteur de puissance basse tension

CEI 61936-1 Installations électriques en courant alternatif de puissance supérieure à 1 kV – Partie 1: Règles communes

CEI 62271-1 Appareillage à haute tension – Spécifications communes

CEI 62271-100 Appareillage à haute tension – Disjoncteurs à courant alternatif

CEI 62271-101 Appareillage à haute tension – Essais synthétiques

CEI 62271-102 Appareillage à haute tension – Sectionneurs et sectionneurs de terre à courant alternatif

CEI 62271-103 Appareillage à haute tension – Interrupteurs pour tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures ou égales à 52 kV

CEI 62271-105 Appareillage à haute tension – Combinés interrupteurs-fusibles à courant alternatif pour tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures ou égales à 52 kV

CEI 62271-200 Appareillage à haute tension – Appareillage sous enveloppe métallique pour courant alternatif de tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures ou égales à 52 kV

CEI 62271-202 Appareillage à haute tension – Postes préfabriqués haute tension/basse tension

CEI 62305-1 Protection contre la foudre – Partie 1: Principe Généraux

CEI 62305-2 Protection contre la foudre – Partie 2: Analyse du risque

CEI 62305-3 Protection contre la foudre – Partie 3: Dommages physiques sur les structures et risques humains

CEI 62305-4 Protection contre la foudre – Partie 4: Réseaux de puissance et de communication dans les structures

CEI 62586-2 Mesure de la qualité de l'alimentation dans les réseaux d'alimentation – Partie 2: Essais fonctionnels et exigences d'incertitude

CEITS 62749 Évaluation de la qualité de l'alimentation réseau – Caractéristiques de la tension fournie par les réseaux publics de distribution

3 Termes et Définitions

Se référer à la série CEI 60050 – Vocabulaire Électrotechnique International

4 Statuts et Règlements Généraux pour les Installations Électriques

Ce guide est destiné à être appliqué aux installations électriques en général mais, dans certains cas, il peut être nécessaire de le compléter par les exigences ou recommandations de chaque pays membre et les Normes Internationales applicables ou par les exigences de la personne qui commande les travaux. Le guide ne s'applique aux équipements électriques que dans la mesure où la sélection et l'application des équipements sont concernées dans l'installation. Il ne tient pas compte des exigences relatives à la construction des ensembles d'équipement électrique, qui doivent être conformes aux normes appropriées.

Pour les installations dans les établissements sur lesquels une autorité responsable des licences ou autre autorité exerce un contrôle réglementaire, les exigences de cette autorité doivent être assurées et respectées durant la conception et l'exécution de l'installation.

Ce guide est basé sur les normes CEI pertinentes, mais la série CEI 60364 qui porte sur les installations électriques basse tension et la sécurité est d'une importance particulière.

5 Conception, Dimensionnement et Protection des Conducteurs

La sélection de zones de section transversale des câbles ou de conducteurs isolés pour les conducteurs de ligne est certainement une des tâches les plus importantes du processus de conception d'une installation électrique puisque cela influence considérablement grandement la sélection des dispositifs de protection contre les surintensités, la chute de tension dans ces conducteurs et l'estimation des courants de court-circuit présumés: la valeur maximale se rapporte à la protection contre les surintensités et la valeur minimale se rapporte à la protection contre les défauts par coupure automatique de l'alimentation. Cela doit être effectué pour chaque circuit d'installation. Une tâche similaire doit être effectuée pour le conducteur du neutre et pour le conducteur de protection (PE).

5.1 Conception des Installations

L'installation électrique doit être conçue pour permettre:

- i) la protection des personnes, du bétail et des biens conformément aux normes nationales et internationales pertinentes.
- ii) le bon fonctionnement de l'installation électrique pour l'usage prévu.

5.2 Méthodologie

Une analyse préliminaire des exigences d'alimentation pour l'installation, une étude du câblage et de sa protection électrique doivent être effectuées, commençant par l'origine de l'installation et passant par les étapes intermédiaires jusqu'aux circuits finaux. Le câblage et sa protection à chaque niveau doivent répondre à plusieurs conditions à la fois, afin d'assurer une installation sûre et fiable, par ex. ça doit:

- Transporter le courant permanent à plein charge et les surintensités normales de courte durée
- Ne pas provoquer de chutes de tension susceptibles d'entraîner une baisse de la performance de certaines charges, par exemple: une période d'accélération trop longue lors du démarrage d'un moteur, etc.

6 Guide de Choix d'Architecture Basse Tension (BT) pour les Bâtiments

De plus, les dispositifs de protection (disjoncteurs ou fusibles) doivent:

- Protéger le câblage et les canalisations pour tous les niveaux de surintensité, jusqu'aux et y compris les courants de court-circuit
- Assurer la protection des personnes contre les risques de contact indirect, en particulier dans les schémas de mise à la terre TN et IT, où la longueur des circuits peut limiter l'amplitude des courants de court-circuit, retardant ainsi la déconnexion automatique (on peut se rappeler que les installations de mise à la terre TT sont nécessairement protégé à l'origine par un DDR, généralement assigné à 300 mA).

Les composants d'un circuit électrique et sa protection sont déterminés d'une manière satisfaisante à toutes les conditions normales et inhabituelles de l'exploitation.

L'architecture de distribution électrique d'une installation comprend la configuration spatiale, le choix des sources d'alimentation, la définition des différents niveaux de distribution, le schéma unifilaire et le choix des équipements. Le choix de la meilleure architecture se traduit souvent par la recherche d'un compromis entre les différents critères de performances qui intéressent le client utilisateur de l'installation aux différentes phases du cycle de vie.

Pour être compatible avec le temps de chantier «privilegié» ou «critique», il convient de limiter les aléas en appliquant les recommandations suivantes:

- a. Utiliser des solutions éprouvées et des équipements validés et testés par les constructeurs (tableau «fonctionnel» ou «constructeur» en fonction de la criticité de l'application);
- b. Préférer la mise en œuvre des équipements pour lesquels il existe un réseau de distribution fiable et pour lesquels il est possible d'avoir un support locale (fournisseur bien implanté);
- c. Favoriser l'utilisation des équipements préfabriqués (poste MT/BT, CEP), permettant de limiter le volume des opérations sur site;
- d. Limiter la variété des équipements à mettre en œuvre, par exemple harmoniser la puissance des transformateurs lorsque c'est possible;
- e. Éviter de mixer les équipements de constructeurs différents.

6.1 Inspection et Essais

Avant qu'un utilitaire ne connecte une installation à son réseau de distribution, des essais électriques d'avant mise en service et des inspections visuelles doivent être réalisés d'une manière satisfaisante par l'autorité compétente ou son agent désigné.

Ces essais sont effectués selon les réglementations locales (gouvernementales et/ou institutionnelles) qui peuvent varier un peu d'un pays à l'autre. Cependant, les principes de ces réglementations sont identiques et sont basés sur le

respect des règles rigoureuses de sécurité dans la conception et la réalisation de l'installation.

Pour ces essais, la norme CEI 60364-6 et les normes correspondantes décrites dans ce guide sont basées sur un consensus international afin de couvrir toutes les mesures de sécurité et les pratiques d'installation approuvées qui sont normalement exigées pour les bâtiments à usage d'habitation, commerciaux et (pour la majorité des bâtiments) industriels. Cependant, beaucoup des industries ont des réglementations supplémentaires relatives à un produit particulier (pétrole, charbon, gaz naturel, etc.). Ces exigences supplémentaires sont au-delà de l'objet de ce guide.

Les essais électriques d'avant mise en service et les vérifications par inspection visuelle des installations électriques à l'intérieur de bâtiment incluent typiquement toutes les actions suivantes :

- Essais de continuité et de conductivité des conducteurs de protection, des liaisons équipotentielles et des mises à la terre
- Essais de résistance d'isolement entre les conducteurs sous tension et les conducteurs de protection connectés au dispositif de liaison à la terre
- Essai de conformité des circuits de TBTS (Très Basse Tension de Sécurité) et TBTP (Très Basse Tension de Protection) ou de séparation des circuits
- Résistance d'isolement/impédance au sol et au mur
- Protection par coupure d'alimentation automatique
- Pour les schémas TN, par mesure de l'impédance de boucle de défaut et vérification des caractéristiques et/ou de l'efficacité des dispositifs de protection associés (dispositif de protection contre les surintensités et dispositif à courant résidentiel «RCD»)

- Pour les schémas TT, par mesure de la résistance de RA de la prise de terre des éléments conducteurs exposés et vérification des caractéristiques et/ou de l'efficacité des dispositifs de protection associés (dispositif de protection contre les surintensités et RCD)
- Pour les schémas informatiques IT: par calcul ou mesure du courant I_d en cas du premier défaut sur le conducteur de ligne ou le conducteur neutre, et avec l'essai effectué pour le schéma TN où les conditions sont similaires au schéma TN en cas de situation de défaut de double isolation, avec l'essai effectué pour le schéma TT où les conditions sont similaires au schéma TT en cas de situation de défaut de double isolation
- Protection supplémentaire en vérifiant l'efficacité de la mesure de protection
- Test de polarité lorsque les réglementations interdisent l'installation de dispositifs de commutation unipolaires dans le conducteur neutre
- Check of phase sequence in case of multi-phase circuit
- Contrôle de la séquence de phases en cas de circuit polyphasé
- Essai fonctionnel des appareillages en vérifiant leur installation et leur réglage
- Chute de tension en mesurant l'impédance du circuit ou en utilisant des diagrammes

Ces essais et vérifications sont basiques (mais non exhaustifs) pour la plupart des installations, tandis que de nombreux autres essais et règles peuvent être inclus dans les réglementations pour couvrir des cas particuliers, par exemple : installation basée sur l'isolation de classe 2, emplacements spéciaux, etc.

En plusieurs pays, toutes les installations de bâtiments industriels et commerciaux, ainsi que les installations des bâtiments utilisés pour les rassemblements publics, doivent être retestées périodiquement par des organismes autorisés.

7 Raccordement au Réseau de Distribution Publique à BT

Les essais suivants doivent être effectués :

- Vérification de l'efficacité et des ajustements du RCD
- Mesures appropriées pour assurer la sécurité des personnes contre les effets des chocs électriques et la protection contre les dommages des matériels causés par le feu et la chaleur
- Confirmation que l'installation n'est pas endommagée
- Identification des défauts d'installation

Lorsque le raccordement est établi au niveau Basse Tension, l'installation sera raccordée au réseau électrique local et comptée conformément en tarification BT, et à toute autre exigence de service public.

Les alimentations BT les plus courantes sont dans l'intervalle 120/208V monophasé et 240/415 V triphasé à 4 fils. Les charges jusqu'à 250 kVA peuvent être fournies en BT, mais les organisations d'alimentation électrique proposent généralement un service MT à des niveaux de charge pour lesquels leurs réseaux BT sont peu adéquats. Une norme internationale de tension pour les systèmes BT triphasés à 4 fils est recommandée par la norme CEI 60038 pour être 230/400 V.

La fonction d'un distributeur de «réseaux» BT est de fournir les connexions de service (câble souterrain ou ligne aérienne) à un certain nombre de consommateurs le long de son parcours.

Les exigences du courant nominal des distributeurs sont estimées à partir du nombre de consommateurs à connecter et une demande moyenne par consommateur.

Les deux principaux paramètres de limitation d'un réseau de distribution sont :

- a. Le courant maximal que c'est capable de transporter indéfiniment, et
- b. La longueur maximale du câble qui, lorsqu'elle transporte son courant maximal, ne dépassera pas la limite autorisée de chute de tension.

Ces contraintes signifient que l'amplitude des charges, que les distributeurs d'énergie vont les connecter à leur réseau de distribution BT, est nécessairement limitée.

Les pratiques varient considérablement d'une organisation d'alimentation à l'autre et aucune valeur «normalisée» ne peut être donnée pour les charges maximales autorisées à connecter à un réseau de distribution BT. Cependant, les facteurs à considérer comprennent:

- a. Les dimensions du réseau de distribution existant auquel la nouvelle charge doit être connectée;

- b. La charge totale déjà connectée au réseau de distribution;
- c. L'emplacement le long du réseau de distribution de la nouvelle charge proposée, c'est-à-dire près de la sous-station, ou près de l'extrémité distante du réseau de distribution, etc.

7.1 Emplacement des compteurs

Pour la commodité du releveur de compteur et du consommateur, l'emplacement des compteurs est généralement à l'extérieur des logements, soit :

- a. Dans un logement autoportant de type pilier.
- b. Dans un espace à l'intérieur d'un bâtiment, mais avec une terminaison de câble et des fusibles de l'autorité d'alimentation situés dans une cabine encastrée et étanche accessible à partir du passage public.
- c. Pour les consommateurs résidentiels privés, l'équipement peut être installé dans une cabine encastrée et étanche fixée verticalement sur un cadre métallique dans le jardin-avant ou encastrée dans le mur d'enceinte, et accessible au personnel autorisé à partir de la chaussée.
- d. Compteurs Pôle Monté

Le compteur doit être situé dans un endroit sûr, sécurisé, accessible et résistant aux intempéries.

8 Emplacements Résidentiels et Autres Emplacements Spéciaux

Les séries de normes CEI 60364 et CEI 61009 fournissent des directives pour la sécurité et la fiabilité des installations électriques des locaux à usage d'habitation.

8.1 Composants des Tableaux de Distribution

La qualité des équipements électriques utilisés dans les locaux à usage d'habitation doit être confirmée par la «marque de conformité» correspondante sur l'élément.

9 Circuits

On prend pour référence les normes nationales et internationales pertinentes.

10 Emplacements Spéciaux

Dans les emplacements spéciaux contenant une baignoire fixe (baignoire, piscine d'accouchement) ou une douche et aux zones environnantes, une attention particulière doit être accordée aux installations électriques et non aux appareils électriques. Les salles de bains et salles d'eau sont des zones à haut risque, en raison de la résistance très faible du corps humain lorsqu'il est mouillé ou immergé dans l'eau. Les directives indiquées dans la norme CEI 60364-7-701 doivent être prises en considération.

11 Distribution BT

La fonction d'un distributeur de «réseaux» BT est de fournir les connexions de service (câble souterrain ou ligne aérienne) à un certain nombre de consommateurs le long de son parcours (consommateurs résidentiels et commerciaux). Les exigences du courant nominal des distributeurs sont estimées à partir du nombre de consommateurs à connecter et une demande moyenne par consommateur. Les deux principaux paramètres de limitation d'un réseau de distribution sont :

- Le courant maximal que c'est capable de transporter indéfiniment, et
- La longueur maximale du câble qui, lorsqu'elle transporte son courant maximal, ne dépassera pas la limite autorisée de chute de tension.

Ces contraintes signifient que l'amplitude des charges, que les distributeurs d'énergie vont les connecter à leur réseau de distribution BT, est nécessairement limitée.

Les facteurs à considérer comprennent :

- Les dimensions du réseau de distribution existant auquel la nouvelle charge doit être connectée;
- La charge totale déjà connectée au réseau de distribution;
- L'emplacement le long du réseau de distribution de la nouvelle charge proposée, c'est-à-dire près de la sous-station, ou près de l'extrémité distante du réseau de distribution, etc. En bref, chaque cas doit être examiné individuellement.

Les alimentations BT les plus courantes sont dans l'intervalle 120 V monophasé et 240/415 V triphasé à 4 fils. Les charges jusqu'à 250 kVA peuvent être fournies en BT, mais les organisations d'alimentation électrique proposent généralement un service MT à des niveaux de charge pour lesquels leurs réseaux BT sont peu adéquats. Une norme internationale de tension pour les systèmes BT triphasés à 4 fils est recommandée par la norme CEI 60038 pour être 230/400 V, mais 240/415 V triphasé à 4 fils peut être préféré par autres pays.

Lorsque le raccordement est établi au niveau Basse Tension, l'installation sera raccordée au réseau électrique local et comptée (nécessairement) en tarification BT.

11.1 Connexions de mise à la terre

Dans un bâtiment, la connexion de toutes les parties métalliques du bâtiment et de tous les éléments conducteurs exposés de l'équipement électrique à une prise de terre empêche l'apparition de tensions élevées dangereuses entre deux parties métalliques accessibles simultanément.

12 Connexions

12.1 Système principal de liaison équipotentielle

La liaison est effectuée par des conducteurs de protection et le but est de s'assurer que, dans le cas où un élément conducteur étranger entrant (tel qu'un tuyau de gaz, etc.) étant porté à un certain potentiel en raison d'un défaut externe au bâtiment, aucune différence de potentiel peut se produire entre les éléments conducteurs étrangers de l'installation. La liaison doit être effectuée le plus près possible du(des) point(s) d'entrée dans le bâtiment et connectée à la borne principale de terre. Cependant, les connexions à la terre des gaines métalliques des câbles de communication nécessitent l'autorisation des propriétaires des câbles.

12.2 Connexions équipotentielles supplémentaires

Ces connexions sont destinées à connecter tous les éléments conducteurs exposés et tous éléments conducteurs étrangers accessibles simultanément, lorsque les conditions correctes de protection n'ont pas été atteintes, c'est-à-dire que les conducteurs de liaison d'origine présentent une résistance élevée inacceptable.

12.3 Connexion des éléments conducteurs exposés à la(aux) prise(s) de terre

La connexion est réalisée par les conducteurs de protection dans le but de fournir un passage de faible résistance aux courants de défaut circulant vers la terre.

12.4 Composants

Une connexion efficace de toutes les fixations métalliques accessibles et de tous les éléments conducteurs exposés des appareils et équipements électriques est essentielle pour une protection efficace contre les chocs électriques.

12.5 Définition des schémas de liaisons à la terre normalisés

Les différents schémas des liaisons à la terre (souvent appelés type de système d'alimentation ou schémas de liaison à la terre) caractérisent la méthode de mise à la terre de l'installation en aval d'enroulement secondaire d'un transformateur MT/BT et les moyens utilisés pour la mise à la terre des éléments conducteurs exposés de l'installation BT fournie par celui-ci. Le choix de ces méthodes gère les mesures nécessaires à la protection contre les risques de contact indirect. Le schéma de liaison à la terre qualifie trois choix initialement indépendants faits par le concepteur d'un système de distribution électrique ou d'une installation :

- Le type de connexion du système électrique (qui est généralement du conducteur neutre) et des éléments exposés aux prises de terre.
- Un conducteur de protection séparé et un conducteur neutre étant un conducteur unique.
- L'utilisation d'une protection contre les défauts d'isolement à la terre d'appareillage de protection contre les surintensités qui élimine uniquement les courants de défauts de forte intensité ou l'utilisation des dispositifs supplémentaires capables de détecter et d'éliminer les courants de défaut d'isolement à la terre de faible intensité. En pratique, ces choix sont regroupés et normalisés comme indiqué ci-dessous. Chacun de ces choix détermine un schéma de liaison à la terre avec trois avantages et trois inconvénients.

13 Schéma TT (neutre à la terre)

12.6 Avantages et Inconvénients:

- La connexion des éléments conducteurs exposés des équipements et du conducteur neutre au conducteur de protection (PE) est efficace pour assurer l'équipotentialité et les faibles surtensions, mais augmente l'intensité des courants de défaut.
- Un conducteur de protection (PE) séparé est une solution plus coûteuse même s'il a une faible section transversale, mais c'est beaucoup plus improbable qu'il soit pollué par des chutes de tension, des courants harmoniques, etc. que dans le cas d'un conducteur neutre. Les courants de fuite sont également évités dans les éléments conducteurs étrangers.
- L'installation de dispositifs de protection contre les courants résiduels ou d'un dispositif de surveillance d'isolement qui sont des dispositifs très sensibles, permet dans de nombreuses circonstances d'éliminer les défauts avant que des dommages importants ne se produisent (moteurs, incendies, électrocution). La protection offerte de plus est indépendante vis-à-vis les modifications d'une installation existante.

Un point de la source d'alimentation est directement relié à la terre. Pendant l'installation, tous les éléments conducteurs exposés et étranges sont reliés à une prise de terre distincte. Cette prise peut être ou non électriquement distincte de l'électrode source. Les deux zones d'influence peuvent se chevaucher sans affecter le fonctionnement des dispositifs de protection.

13.1 Schémas TN (éléments conducteurs exposés raccordés au neutre)

La source est mise à la terre comme au schéma TT (ci-dessus). Dans l'installation, tous les éléments conducteurs exposés et étranges sont reliés au conducteur neutre.

14 Schéma TN-C

Le conducteur neutre est également utilisé comme conducteur de protection et est appelé conducteur PEN (conducteur de protection confondu). Ce schéma n'est pas autorisé pour les conducteurs de moins de 10 mm² ou pour les canalisations mobiles. Le schéma TN-C nécessite un environnement équipotentiel efficace pendant l'installation avec des prises de terre réparties et éloignées, aussi régulièrement que possible, puisque le conducteur PEN est à la fois le conducteur neutre et transporte en même temps les courants de déséquilibre de phase ainsi que les courants harmoniques du 3^{ème} ordre (et leur multiples). Le conducteur PEN doit donc être relié à plusieurs prises de terre dans l'installation.

Attention: Dans le schéma TN-C, la fonction «conducteur de protection» est prioritaire sur la «fonction neutre». En particulier, un conducteur PEN doit toujours être raccordé à la borne de terre d'une charge et un pont est utilisé pour relier cette borne à la borne neutre.

15 Schéma TN-S

Le schéma TN-S (5 fils) est obligatoire pour les circuits avec de sections transversales inférieures à 10 mm^2 pour les équipements mobiles. Le conducteur de protection et le conducteur neutre sont distincts. Sur les systèmes de câbles souterrains où existent les câbles à gaines de plomb, le conducteur de protection est généralement la gaine de plomb. L'utilisation de conducteurs distincts PE et N (5 fils) est obligatoire pour les circuits avec de sections transversales inférieures à 10 mm^2 pour les équipements mobiles.

16 Schéma TN-C-S

Les schémas TN-C et TN-S peuvent être utilisés dans la même installation. Dans le schéma TN-C-S, le schéma TN-C (4 fils) ne doit jamais être utilisé en aval du schéma TN-S (5 fils), car toute interruption accidentelle du neutre sur la section en amont entraînerait une interruption du conducteur de protection dans la section aval et donc c'est un danger.

17 Schéma IT (neutre isolé ou neutre impédant)

17.1 Schéma IT (neutre isolé)

Aucune liaison n'est réalisée intentionnellement entre le point neutre de la source d'alimentation et la terre (cf. Fig. 1). Les masses d'utilisation (éléments conducteurs exposés et étrangers) de l'installation sont reliés à une prise de terre. En pratique, tous les circuits possèdent une impédance de fuite à la terre, car aucun isolement n'est parfait. Parallèlement à ce passage de fuite résistif (distribué), il y a le passage du courant capacitif distribué, les deux passages ensemble composent l'impédance de fuite normale à la terre.

Dans un système BT triphasé à 3 fils, 1 km de câble aura une impédance de fuite due à C1, C2, C3 et R1, R2 et R3 équivalente à une impédance neutre Z_{ct} de 3000 à 4000 Ω , sans compter le filtrage capacitif des dispositifs électroniques.

17.2 Schéma IT (neutre impédant)

Une impédance Z_s (de l'ordre de 1000 à 2000 Ω) est reliée en permanence entre le point neutre d'enroulement du transformateur BT et la terre. Toutes masses d'utilisation (éléments conducteurs exposés et étrangers) sont reliées à une prise de terre. Les raisons de cette forme de liaison à la terre sont de fixer le potentiel d'un réseau court par rapport à la terre (Z_s est faible par rapport à l'impédance de fuite) et de réduire le niveau des surtensions par rapport à la terre, telles que les parafoudres transmises par les bobinages MT, charges statiques, etc. En revanche, il a pour effet d'augmenter légèrement le niveau du courant de premier défaut.

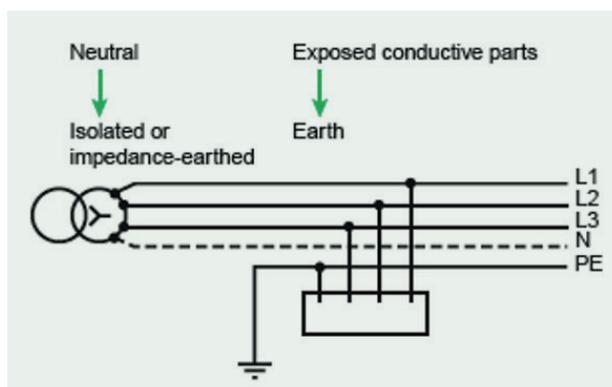


Figure 1: Schéma IT (Neutre isolé)

18 Caractéristiques des schémas TT, TN et IT

Technique de protection des personnes: les éléments conducteurs exposés sont mis à la terre et les dispositifs différentiels à courant résiduel (DDR) sont utilisés.

Technique d'exploitation: interruption au premier défaut d'isolement.

REMARQUE :

Si les éléments conducteurs exposés sont reliés en plusieurs points à la terre, mises à la terre en un certain nombre de points, il faut installer un DDR sur chacun des groupes de circuits reliés à une prise de terre donné.

18.1 Caractéristiques principales

1. Solution très simple pour la conception et l'installation.
2. Utilisable dans les installations alimentées directement par le réseau de distribution publique BT.
3. Ne nécessite pas une permanence de surveillance pendant l'exploitation (un contrôle périodique des DDRs peut être nécessaire).
4. La protection est assurée par des dispositifs spécifiques, les dispositifs différentiels à courant résiduel (DDR), qui évitent également les risques d'incendie lorsque leur sensibilité est mis à 500 mA.
5. Chaque défaut d'isolement entraîne une interruption de l'alimentation électrique, mais la coupure est limitée au circuit en défaut par l'installation de DDRs en série (DDR sélectifs) ou en parallèle (sélection des circuits).
6. Les charges ou parties d'installation, qui sont la cause en marche normale de courants de fuite élevés, doivent faire l'objet de mesures spéciales pour éviter les déclenchements indésirables, c'est-à-dire alimenter les charges par transformateurs de séparation ou utiliser des DDRs spécifiques; comme indiqué dans les exigences de la norme CEI 60364-4-41.

19 Schéma TN

Technique de protection des personnes :

1. L'interconnexion et la mise à la terre des éléments conducteurs exposés et du neutre sont obligatoires.
2. Interruption au premier défaut en utilisant la protection contre les surintensités (disjoncteurs ou fusibles).

Technique d'exploitation: interruption au premier défaut d'isolement.

19.1 Caractéristiques principales

Le schéma TN, d'une manière générale :

1. Nécessite l'installation des prises de terre à intervalles réguliers tout au long de l'installation.
2. Nécessite que la vérification initiale des déclenchements sur premier défaut d'isolement soit effectuée par le calcul pendant la phase de conception, suivie par des mesures obligatoires pour confirmer le déclenchement pendant la mise en service.
3. Nécessite que toute modification ou extension soit conçue et réalisée par un installateur qualifié.
4. Peut entraîner, en cas de défaut d'isolement, une détérioration plus importante des bobinages des machines tournantes.
5. Peut présenter, dans les locaux à risque d'incendie, un danger plus grand en raison des courants de défaut très élevés.

De plus, le schéma TN-C :

1. Peut faire apparaître une économie à l'installation (élimination d'un pôle d'appareillage et d'un conducteur).
2. Implique l'utilisation de conducteurs fixes et rigides.
3. Est interdit dans certains cas:
 - Dans les locaux à risques d'incendie
 - Pour les équipements informatiques (présence de courant harmonique dans le neutre).

20 Schéma IT

De plus, le schéma TN-S :

1. Peut être utilisé même en présence de conducteurs souples et de conduits de faible section.
2. En raison de la séparation du neutre et du conducteur de protection, fournit un PE non pollué (systèmes informatiques et locaux à risques particuliers).

20.1 Technique de protection

1. Interconnexion et mise à la terre des éléments conducteurs exposés.
2. Signalation du premier défaut par un dispositif de surveillance d'isolement (DSI).
3. Interruption au deuxième défaut en utilisant la protection contre les surintensités (disjoncteurs ou fusibles).

20.1.1 Technique d'exploitation :

1. Surveillance du premier défaut d'isolement.
2. Emplacement et élimination obligatoires du défaut.
3. Interruption de deux défauts d'isolement simultanés.

20.1.2 Caractéristiques principales

1. Solution assurant la meilleure continuité de service pendant l'exploitation.
2. Signalisation du premier défaut d'isolement, suivie par l'emplacement et l'élimination obligatoires, permet une prévention systématique de toute interruption d'alimentation.
3. Généralement utilisé dans les installations alimentées par un transformateur MT/BT ou BT/BT privé.
4. Nécessite un personnel d'entretien pour la surveillance et l'exploitation.
5. Nécessite un haut niveau d'isolement du réseau (implique la fragmentation du réseau si celui-ci est très étendu et l'alimentation des récepteurs à courant élevé de fuite par transformateurs de séparation).
6. La vérification des déclenchements pour deux défauts simultanés doit être effectuée par le calcul pendant la phase de conception, suivie par des mesures obligatoires sur chaque groupe des éléments conducteurs exposés interconnectés, pendant la mise en service.
7. La protection du conducteur neutre doit être assurée.

21 Critères de choix des schémas TT, TN et IT

Le choix ne dépend pas de critères de sécurité. Les trois schémas sont équivalents en termes de protection des personnes si toutes les règles d'installation et d'exploitation sont correctement respectées. Les critères de choix des meilleurs schémas dépendent des exigences réglementaires, de la continuité requise de service, de conditions d'exploitation et de types de réseau et de charges.

Sur le plan de protection des personnes, les trois schémas de liaison à la terre (SLT) sont équivalents si toutes les règles d'installation et d'exploitation sont correctement respectées.

Par conséquent, le choix ne dépend pas de critères de sécurité. C'est le croisement des exigences réglementaires, de continuité de service, de conditions d'exploitation et de types de réseau et de charges qui détermine le(s) meilleur(s) type(s) de schéma.

Le choix est déterminé par les facteurs suivants :

1. D'abord, les règlements applicables qui imposent dans certains cas un type déterminé de SLT.
2. Deuxièmement, la décision du propriétaire si l'alimentation se fait via un transformateur MT/BT privé (abonnement à MT) ou si le propriétaire possède sa propre source d'énergie (ou un transformateur à enroulement séparé). Si le propriétaire est libre de son choix, la décision sur le SLT est prise après une discussion avec le concepteur du réseau (bureau de conception, installateur).

Les discussions doivent porter :

Tout d'abord, les exigences d'exploitation (le niveau requis de continuité de service) et les conditions d'exploitation (entretien assuré par un personnel électricien ou non, personnel interne ou d'une entreprise extérieure, etc.) et deuxièmement, les caractéristiques particulières du réseau et des charges.

Choix de la méthode de liaison à la terre – mise en œuvre

Après avoir consulté les réglementations applicables, le tableau 1 peut être utilisé pour décider des divisions et l'isolement galvanique possible des sections appropriées d'une installation proposée.

21.1 Fractionnement de source

Cette technique concerne l'utilisation de plusieurs transformateurs au lieu d'utiliser une unité de forte puissance. De cette façon, une charge qui est une source de perturbations du réseau (gros moteurs, fours, etc.) peut être alimentée par son propre transformateur.

La qualité et la continuité de l'alimentation de l'ensemble d'installation sont ainsi améliorées. Le coût d'appareillage est réduit (le niveau de courant de court-circuit est plus faible). La rentabilité de transformateurs séparés doit être déterminée au cas par cas.

21.2 Îlotage

Il consiste à séparer galvaniquement une partie du réseau par un transformateur BT/BT pour adapter au mieux le choix du schéma des liaisons à la terre pour répondre aux besoins spécifiques.

22 Méthodes de distribution and d'installation

La distribution s'effectue via des téléphériques qui transportent des conducteurs ou des câbles isolés simples et comprennent un système de fixation et une protection mécanique. À ajouter un texte supplémentaire résumant ce sujet et à inclure une référence des normes internationales.

Marquage du conducteur (conformément au règlement du pays)

L'identification du conducteur doit toujours respecter les trois règles suivantes :

1. La double coloration vert-jaune est strictement réservée aux conducteurs de protection PE et PEN.
2. Lorsqu'un circuit comprend un conducteur neutre, ça doit être en couleur bleu clair ou marqué par numéro «1» pour les câbles de plus de cinq conducteurs. Lorsqu'un circuit ne possède pas de conducteur neutre, le conducteur bleu clair peut être utilisé comme conducteur de phase s'il fait partie d'un câble avec plus d'un conducteur.
3. Les conducteurs de phase peuvent être en n'importe quelle couleur, sauf :
 - Vert et jaune
 - Vert
 - Jaune
 - Bleu clair (cf. règle 2).

REMARQUE :

les conducteurs d'un câble sont identifiés soit par leur couleur, soit par les numéros sur le marquage du conducteur.

23 Canalisation préfabriquée (busways)

Un système de canalisation électrique préfabriquée comprend un ensemble de conducteurs protégés par un coffret de protection (cf. Fig. 2) utilisés pour le transport et la distribution de l'énergie électrique, les systèmes de canalisations électriques préfabriquées possèdent tous les caractéristiques nécessaires à leur installation sur site : des connecteurs, des éléments droits, des éléments d'angle, des dispositifs d'installation, etc. Les prises de dérivation placées à des intervalles réguliers rendent disponible l'énergie électrique en tous points de l'installation.

23.1 Dimensionnement des systèmes de canalisation électrique préfabriquée

La première étape de la procédure du choix des systèmes de canalisation préfabriquée est d'évaluer les courants de phase ainsi que le taux d'harmonique 3.

REMARQUE :

Le taux d'harmonique 3 a un impact sur le courant neutre et donc sur le dimensionnement de toutes les composantes d'une installation:

1. Tableaux de distribution,
2. Appareillage de protection et de répartition,
3. Câbles et systèmes de canalisation préfabriquée.

En fonction du taux estimé d'harmonique 3, trois cas sont possibles :

- a. Taux d'harmonique 3 inférieur à 15% ($ih_3 \leq 15\%$): Le conducteur neutre est considéré comme non chargé. La section des conducteurs de phases dépend seulement des courants de phase. La section du conducteur neutre peut être inférieure à la section des courants de phase si la section transversale est supérieure à 16 mm² en Cuivre ou 25 mm² en Aluminium.
- b. Taux d'harmonique 3 compris entre 15 et 33% ($15 < ih_3 \leq 33\%$): Le conducteur neutre est considéré comme conducteur porteur de charge. Le courant d'emploi doit être réduit

d'un facteur égal à 0,84 (ou inversement), choisir une canalisation dont le courant d'emploi est égal au courant de phase divisé par 0,84. La section du conducteur neutre doit être égale à la section des phases.

- c. Taux d'harmoniques 3 supérieur à 33% ($i_{h3} > 33\%$): Le conducteur neutre est considéré comme conducteur porteur de charge. L'approche recommandée consiste à adopter les conducteurs de circuit de même section pour la section des conducteurs de phases et conducteur neutre. Le courant du conducteur neutre est alors prépondérant pour la détermination de la section des conducteurs. Ceci conduit en général au choix d'un système de canalisation préfabriquée dont le courant actuel est supérieur à la capacité demandée (généralement avec un écart de 2 calibres).

23.2 Les Différents Types de Canalisation Préfabriquée:

Les systèmes de canalisations préfabriquées sont présents à tous les niveaux de la distribution: de la liaison entre le transformateur et le tableau général basse tension (TGBT) à l'alimen-

tation des prises de courant et de l'éclairage dans les bureaux ou à la distribution d'énergie dans les ateliers. Il y a essentiellement trois catégories de canalisations préfabriquées.

1. Canalisation préfabriquée (liaison) du transformateur au TGBT. L'installation de canalisation préfabriquée peut être considérée comme permanente et ne sera probablement jamais modifiée. Il n'y a pas de prises de dérivation. Fréquemment utilisée sur de courte distance, elle est presque toujours installée pour des valeurs d'intensités supérieures à 1600/2000 A, c'est-à-dire quand la mise en parallèle des câbles rend l'installation impossible. Les canalisations préfabriquées sont aussi utilisées entre le TGBT et les tableaux de distribution en aval. Les caractéristiques des canalisations préfabriquées de distribution principale autorisent des courants d'exploitation de 1000 à 5000 A et les courts-circuits résistent jusqu'à 150 kA.
2. Canalisation préfabriquée de distribution répartie à faible ou forte densité de dérivation. En aval d'une canalisation préfabriquée de distribution principale, deux types d'application peuvent être alimentées:

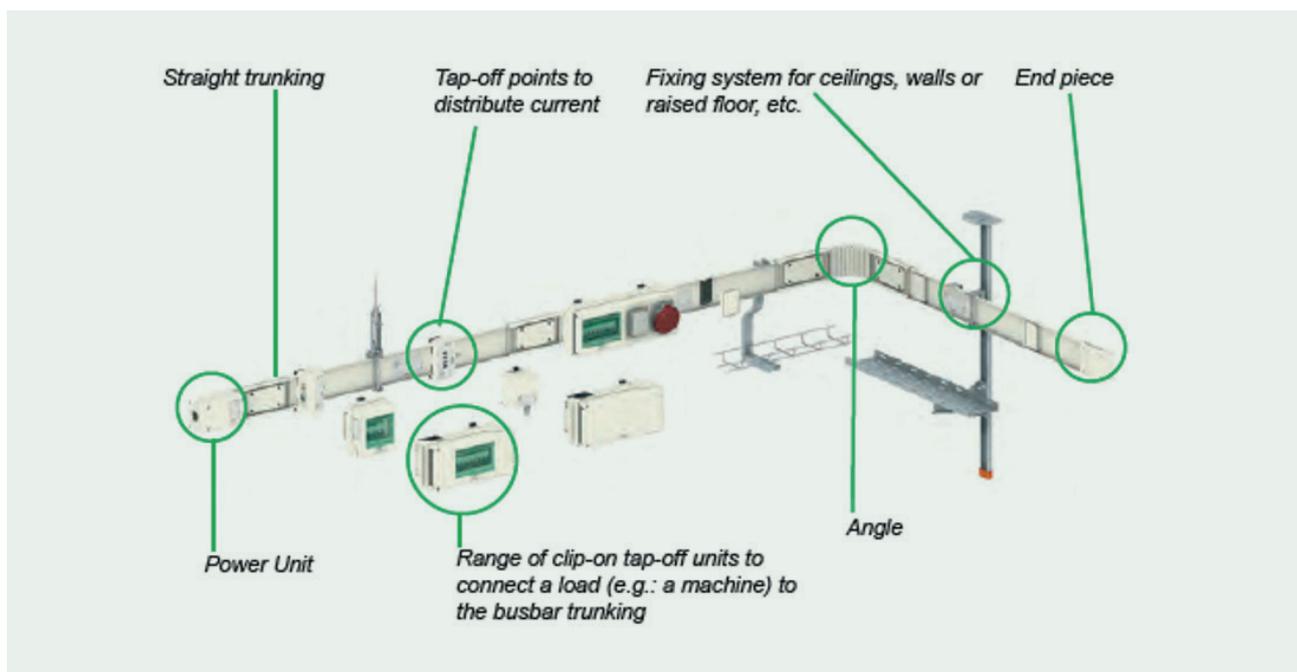


Figure 2: Conception d'un système de canalisations électriques préfabriquées de distribution pour des intensités de courants de 25 A à 4000 A

3. Bâtiments de taille moyenne (ateliers industriels avec des presses à injection, des machines à souder, ou hypermarchés avec de gros consommateurs). Les niveaux de courants de court-circuit et de courants d'emploi peuvent être assez élevés (respectivement de 20 à 70 kA et de 100 A à 1000 A).
4. Sites de petite taille (atelier avec des machines-outils, usine textile avec des métiers à tisser, supermarchés avec des petits consommateurs). Les niveaux de courants de court-circuit et de courants d'emploi sont plus faibles (respectivement de 10 à 40 kA et de 40 A à 400 A).

23.2.1 Canalisation préfabriquée de distribution répartie répond aux besoins des utilisateurs en terme de :

1. Modifications et évolution sur site grâce à la haute densité des prises de dérivation.
2. Sûreté et continuité de service du fait que les coffrets de dérivation peuvent être connectés sous tension en toute sécurité.

Le concept de la distribution répartie est aussi valable pour une distribution verticale par l'emploi de colonne montante de 100 A à 5000 A dans les grands bâtiments.

1. Les canalisations préfabriquées pour l'alimentation des appareils d'éclairage – Les circuits d'éclairage peuvent être alimentés en utilisant 2 types de canalisation préfabriquée selon que les appareils d'éclairage sont fixés ou non à la canalisation préfabriquée.
2. Canalisation préfabriquée conçue pour la fixation des appareils d'éclairage – Ces canalisations préfabriquées alimentent et supportent les appareils d'éclairage (réflecteurs industriels, lampes à décharge, etc.). Elles sont utilisées dans des bâtiments industriels, des supermarchés, des grands magasins et des entrepôts. Les canalisations préfabriquées sont très rigides et conçues pour un ou deux circuits de 20 A ou 40 A. Elles ont des prises de dérivations espacées de 0,5 m à 1 m.

3. Canalisation préfabriquée non conçue pour la fixation des appareils d'éclairage – Similaire à un système de câbles préfabriqués, ces canalisations préfabriquées sont utilisées pour alimenter tous les types d'appareils d'éclairage suspendus à la structure du bâtiment. Elles sont utilisées dans des bâtiments commerciaux (bureaux, magasins, restaurants, hôtels, etc.), notamment dans les faux plafonds. Les canalisations préfabriquées sont souples et conçues pour un circuit de 20 A. Elles ont des prises de dérivations espacées de 1,2 m à 3 m.

Les systèmes de canalisations préfabriquées répondent aux exigences d'un grand nombre de bâtiments.

1. Bâtiments industriels : garages, ateliers, bâtiments de ferme, centres logistiques, etc.
2. Surfaces commerciales : magasins, centre commercial, supermarchés, hôtels, etc.
3. Bâtiments tertiaires : bureaux, écoles, hôpitaux, salles de sports, bateaux de croisières, etc.

23.3 Normes

Les systèmes de canalisations préfabriquées doivent être entièrement conformes à la norme CEI 61439-6. Cette norme définit les dispositions constructives à remplir lors de la conception des systèmes de canalisations préfabriquées (par exemple: caractéristiques d'échauffement, tenue au court-circuit, tenue mécanique, etc.) ainsi que les méthodes d'essais pour les vérifier. La norme CEI 61439-6 décrit aussi notamment les vérifications de conception et les vérifications de routine requises pour garantir la conformité.

En assemblant les composants du système sur site selon les instructions de montage, l'entrepreneur bénéficie de la conformité à cette norme.

24 Courant Neutre et Facteur de Charge dans les Systèmes Triphasés à 4 Fils

Les courants de phase non linéaires conduisent à un courant neutre non linéaire, dans un système triphasé à quatre fils alimentant des charges monophasées identiques. Le courant neutre ne comprend que des harmoniques de troisième ou de rang impair multiple de 3 dont les amplitudes sont 3 fois supérieures à celles des courants de phase.

Ainsi, la valeur efficace du courant neutre est égale à $1,732 (\sqrt{3})$ fois la valeur efficace THD du courant de ligne.

Lorsque les charges comprennent une part des circuits linéaires (tels que moteurs, appareils de chauffage, lampes à incandescence), la valeur efficace du courant neutre est strictement inférieure à $\sqrt{3}$ fois la valeur efficace des courants de phase.

Des simulations ont été réalisées pour évaluer l'influence du taux de courant harmonique 3 sur le courant du conducteur neutre.

Le courant neutre est ensuite calculé et comparé au courant de ligne pour les différents niveaux de harmonique 3. Le facteur de charge du conducteur neutre (rapport du courant neutre au courant de ligne) est représenté en figure 3.

Un fort taux de charge du courant neutre peut être observé dans les installations où l'on trouve un grand nombre de charges non linéaires monophasées raccordées au neutre.

Dans ces installations, le courant neutre peut dépasser le courant de phase et une attention particulière doit être donnée au calibrage du conducteur neutre. Ceci interdit l'installation d'un conducteur de neutre de taille réduite et le courant dans l'ensemble des quatre fils doit être pris en compte.

Une pratique courante consiste à doubler la section du conducteur neutre. Cela ne fait pas partie des réglementations électriques/de construction, mais cette pratique est encouragée par les fabricants comme une bonne pratique d'ingénierie.

Sauf dans des cas exceptionnels, le taux d'harmonique de rang 3 dans ces installations ne dépasse pas 33%, donc le courant neutre ne dépasse donc pas le courant de ligne. Il n'est pas donc nécessaire d'utiliser un conducteur neutre surdimensionné.

24.1 Effets des courants harmoniques sur les courants de circuit

La circulation de courants harmoniques provoque un échauffement supplémentaire au sein des conducteurs pour plusieurs raisons :

1. Échauffement est produit à la suite des niveaux élevés supplémentaires de courants harmoniques de rang 3, par rapport au courant relativement faible circulant dans le courant neutre pour des charges linéaires équilibrées normales.
2. Échauffement supplémentaire de tous les conducteurs par augmentation de l'effet de peau et des pertes par courants de Foucault, résultant de la circulation de tous les rangs d'harmoniques.

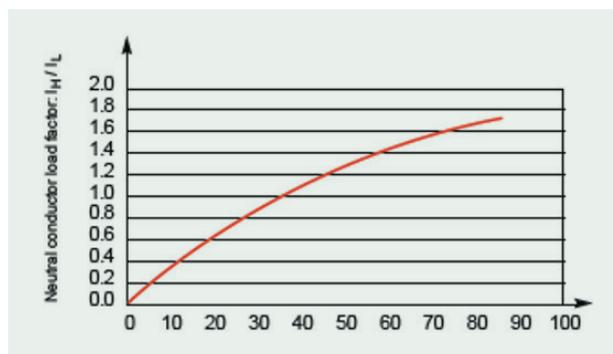


Figure 3: Taux de charge du conducteur neutre en fonction du taux d'harmonique 3.

25 Protection Contre les Surtensions

Une surtension se produit lorsque la tension d'alimentation dépasse la tension nominale de l'équipement. Cela peut être dû à la foudre, une mauvaise régulation de l'alimentation, des transformateurs surdimensionnés, une variation de la charge du circuit, aux erreurs de câblage, etc.

25.1 Foudre

Les tempêtes sont accompagnées de coups de foudre qui représentent un grave danger pour les personnes et l'équipement. Les éclairs produisent une quantité d'énergie électrique impulsionnelle extrêmement importante de plusieurs milliers d'ampères de haute fréquence (environ 1 MHz) et de courte durée (de la microseconde à la milliseconde). La foudre provoque également un grand nombre d'incendies, la plupart dans les milieux agricoles (détruisant des maisons ou les rendant impropres à l'utilisation). Les bâtiments de grande hauteur sont les bâtiments plus particulièrement foudroyés. La foudre endommage les systèmes électriques et électroniques, en particulier: les transformateurs, les compteurs électriques et les appareils électriques dans les locaux résidentiels et industriels.

25.2 Principe de la protection contre la foudre

25.2.1 Règles générales

Le système de protection d'un bâtiment contre les effets de la foudre doit comprendre :

1. une protection des structures contre les coups de foudre directs,
2. une protection de l'installation électrique contre les coups de foudre directs et indirects.

25.3 Procédure de prévention des risques de foudroiement

Le principe de base de la protection d'une installation contre les risques de foudroiement consiste à empêcher l'énergie perturbatrice d'atteindre les équipements sensibles. Pour cela, il est nécessaire de :

1. capter et canaliser le courant de foudre vers la terre par le chemin le plus direct (en évitant la proximité des équipements sensibles);
2. réaliser la liaison équipotentielle de l'installation.

Cette liaison équipotentielle est réalisée par des conducteurs de liaison, complétée par des parafoudres ou par des éclateurs (éclateur de mât d'antenne par exemple).

Minimiser les effets induits et indirects par la mise en œuvre de parafoudres et/ou de filtres.

Deux systèmes de protection sont utilisés pour supprimer ou limiter les surtensions : ils sont désignés comme système de protection du bâtiment (à l'extérieur des bâtiments) et système de protection de l'installation électrique (à l'intérieur des bâtiments).

25.4 Système de protection du bâtiment

Le rôle du système de protection du bâtiment est de le protéger contre les coups de foudres directs.

Le système est composé de :

1. Dispositif de capture: dispositif paratonnerre;
2. Conducteurs de descente destinés à écouler le courant de foudre vers la terre;
3. Prises de terre en « patte d'oie » reliées entre elles;
4. Liaisons entre toutes les masses métalliques (réseau d'équipotentialité) et les prises de terre.

25.5 Les 3 types de dispositif paratonnerre

1. **Le paratonnerre à tige (tige simple ou avec système de déclenchement)** – Le paratonnerre à tige est une pointe de capture métallique placée au sommet du bâtiment. Il est mis à la terre par un ou plusieurs conducteurs (souvent des bandes de cuivre).

2. **Le paratonnerre à fil tendu** – Ces fils sont tendus au dessus de la structure à protéger. Ils sont utilisés pour protéger des structures particulières: aires de lancement de fusées, applications militaires et protection des lignes aériennes à haute tension (cf. Fig. 4).
3. **Le paratonnerre à cage maillée (cage de Faraday)** – Cette protection consiste à multiplier de manière symétrique les conducteurs/rubans de descente tout autour du bâtiment. (cf. Fig. 5). Ce type de paratonnerre est utilisé pour des bâtiments très exposés abritant des installations très sensibles comme les salles informatiques. Par conséquent, le système de protection du bâtiment ne protège pas l'installation électrique: il est donc obligatoire de précf. un système de protection de l'installation électrique.

25.6 Dispositifs de Protection par Parafoudre (Parafoudre)

Les dispositifs de protection par parafoudre (parafoudre) sont utilisés pour les réseaux d'alimentation électrique, les réseaux téléphoniques, et les bus de communication et d'automatisme. Le parafoudre est un dispositif destiné à limiter les surtensions transitoires d'origine atmosphérique et à dériver les ondes de courant vers la terre, afin de limiter l'amplitude de cette surtension à une valeur non dangereuse pour l'installation électrique et l'appareillage électrique.

Connecté en parallèle, un parafoudre a une haute impédance. Lorsque la surtension transitoire apparaît dans le système, l'impédance du dispositif diminue et alors le courant de foudre est dérivé à travers le parafoudre, en contournant le matériel sensible.

Le parafoudre est un composant du système de protection de l'installation électrique.

Le parafoudre est connecté en parallèle sur le circuit d'alimentation des récepteurs qu'il doit protéger (cf. Fig. 6). Il peut aussi être utilisé à tous les niveaux du réseau d'alimentation. C'est le type de protection contre les surtensions le plus utilisé et le plus efficace.

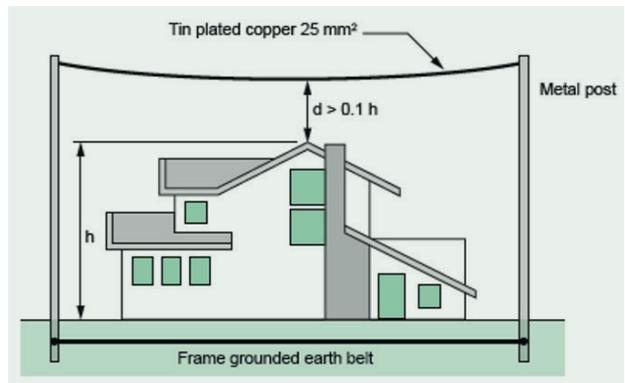


Figure 4: fil tendu

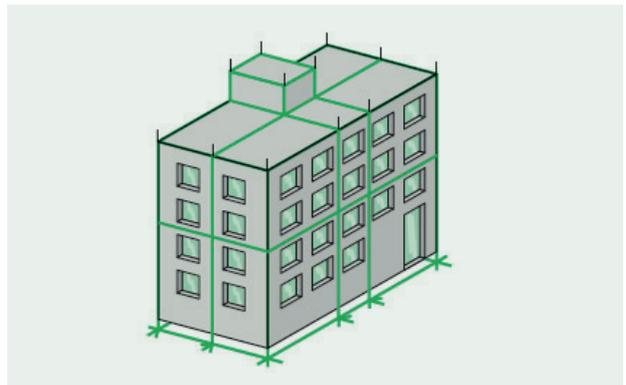


Figure 5: Cage maillée (cage de Faraday)

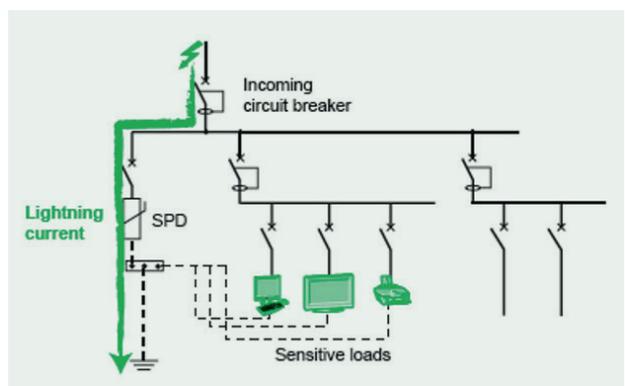


Figure 6: Principe de la protection en parallèle

26 Efficacité Énergétique dans les Installations Électriques BT

L'objectif de l'efficacité énergétique est de fournir le même niveau de service en consommant moins d'énergie. Par la mise en œuvre d'équipement électrique à haut rendement et de contrôleurs intelligents, il est possible d'économiser jusqu'à 30% d'énergie. Ceci est le moyen le plus rentable pour limiter les émissions de CO₂, réduire la consommation d'énergie et faire des économies.

L'efficacité énergétique dans les bâtiments peut être le résultat de :

- a. Mesures réglementaires, avec l'évolution de règlements, directives et normes, qui peuvent être publiés au niveau national, régional ou international;
- b. Une démarche volontaire par les promoteurs, propriétaires des bâtiments, occupants, etc. qui décident de faire certifier leur immeuble afin d'adopter des solutions durables, et obtenir la reconnaissance de leurs réalisations sur le marché.

Pour mettre en œuvre l'efficacité énergétique, un diagnostic énergétique devient crucial car il souligne les domaines où ça serait possible de réaliser des économies.

26.1 Diagnostics Énergétiques

Le diagnostic énergétique est une inspection, un sondage et une analyse des flux énergétiques pour la conservation de l'énergie dans un bâtiment. Ça peut comprendre un processus ou un système pour réduire la quantité de l'intrant énergétique dans le système sans affecter négativement le rendement.

Une fois les diagnostics d'énergie terminés, les mesures d'économie d'énergie en place et les économies quantifiées, il est impératif de mettre en place un système de surveillance de l'énergie qui peut être utilisé effectivement et entretenu pour assurer la stabilité de la performance au fil du temps. Sans un cycle d'amélioration continue, la performance tend à régresser.

26.2 Normes d'Efficacité Énergétique

Lors de la mise en œuvre de mesures d'efficacité énergétique, les normes suivantes relatives à l'efficacité énergétique doivent être prises en compte :

- i) ISO 50001 – Systèmes de Management de l'Énergie – Exigences et recommandations de mise en œuvre
- ii) ISO 50006 – Performances Énergétiques de Référence (PER) et Indicateurs de Performance Énergétique (IPÉ)
- iii) IEC 61557-12 – Dispositifs de Mesure et de Surveillance des Performances
- iv) IEC 60364-8-1 – Installations Électriques Basse Tension – Part 8-1 : Efficacité énergétique

27 Compensation du Facteur de Puissance

Le facteur de puissance est un indicateur de la qualité de la conception et de la gestion d'une installation électrique. Il repose sur deux notions très basiques: les puissances active et apparente. La puissance active P (kW) est la puissance réelle transmise à des charges telles que moteurs, lampes, appareils de chauffage et ordinateurs. La puissance active électrique est transformée en énergie mécanique, chaleur ou lumière. La puissance apparente est la base du dimensionnement de l'équipement électrique. La compensation du facteur de puissance dans les installations électriques est effectuée localement, globalement ou en combinant les deux méthodes.

Le facteur de Puissance λ , est le rapport de la puissance active P (kW) sur la puissance apparente S (kVA) :

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

27.1 Pertinence de la Compensation du Facteur de Puissance

L'amélioration du facteur de puissance d'une installation présente plusieurs avantages économiques et techniques, notamment en ce qui concerne la réduction de la facture d'électricité, et peut également avoir un impact sur l'efficacité énergétique. L'amélioration du facteur de puissance permet l'utilisation des transformateurs, des appareillages, des câbles réduits, etc. ainsi qu'une diminution des pertes en ligne et des chutes de tension dans l'installation. L'investissement impliqué dans la compensation du facteur de puissance peut être récupéré en moins d'un an. La méthode la plus courante pour améliorer le facteur de puissance d'une installation nécessite une batterie de condensateurs qui agit en tant que source d'énergie réactive. Cette disposition s'appelle la compensation d'énergie réactive. Les condensateurs peuvent être fixes ou automatiques mais la dernière fait preuve de plus de flexibilité. Le dimensionnement et la sélection des batteries de condensateurs doivent être conformes à la CEI 61921 (Condensateurs de puissance – Batterie de compensation du facteur de puissance basse tension)

Autres méthodes disponibles pour la compensation des facteurs de puissance :

1. Condenseur asynchrone: Ce sont des moteurs asynchrones triphasés sans charge attachée à sa tige.
2. Déphasage: C'est un excitateur d'un courant alternatif CA principalement utilisé pour améliorer la puissance du moteur à induction.

28 Gestion des Harmoniques

28.1 Perturbations dues aux harmoniques

Les harmoniques circulant dans les réseaux de distribution représentent des perturbations dans le flux d'électricité. La présence d'harmoniques dans les systèmes électriques signifie que le courant et la tension sont déformés et s'écartent de formes d'onde sinusoïdales. La qualité de l'énergie électrique est détériorée et l'efficacité du système est diminuée.

Les courants harmoniques sont causés par des charges non linéaires connectées au système de distribution. Une charge est dite non linéaire lorsque le courant qu'elle absorbe n'a pas la même forme d'onde que la tension d'alimentation. La circulation de courants harmoniques dans les impédances du réseau crée ensuite des harmoniques de tension, qui déforment la tension d'alimentation.

28.2 Principaux risques associés aux harmoniques :

1. Surcharge des réseaux de distribution due à l'augmentation du courant actif/efficace,
2. Surcharge des conducteurs de neutre dont le courant peut excéder le courant dans les phases,
3. Surcharge, vibrations et vieillissement prématuré des alternateurs, transformateurs, moteurs, ainsi que ronflement des transformateurs,
4. Surcharge et vieillissement prématuré des condensateurs de Compensation du Facteur de Puissance,
5. Déformation de la tension d'alimentation pouvant perturber des récepteurs sensibles,
6. Perturbation des réseaux de communication et des lignes téléphoniques.

28.3 Impact économique des perturbations

1. Vieillesse prématuré d'un équipement signifie qu'il doit être remplacé plus tôt, à moins qu'il soit surdimensionné dès le départ,

2. Surcharge du réseau de distribution signifie une puissance installée supérieure, une augmentation de la puissance souscrite pour le client industriel et des pertes de puissance accrues,
3. Distorsion de courant imprévue peut conduire à des déclenchements intempestifs et à un arrêt de production.

28.4 Une préoccupation nécessaire pour la conception et la gestion des installations électriques

Les harmoniques sont le résultat du nombre toujours croissant de dispositifs électroniques de puissance. Ils sont devenus très nombreux aujourd'hui en raison de leurs capacités de contrôle précis des processus et des avantages en termes d'économie d'énergie. Des exemples typiques sont les Variateurs de Vitesse dans l'industrie et les Lampes Fluorescentes Compactes dans les zones commerciales et résidentielles.

Les normes internationales ont été publiées afin d'aider les concepteurs d'équipement et d'installations. Des limites d'émission harmonique ont été fixées, de sorte qu'aucun impact négatif inattendu lié aux harmoniques ne devrait être rencontré. En parallèle à une meilleure compréhension des effets, des solutions ont été développées par l'industrie. La prise en compte des harmoniques est maintenant une partie intégrante de la conception des installations électriques.

28.5 Principaux effets des harmoniques dans les installations électriques

1. Résonance
2. Augmentation des pertes
3. Surcharge d'équipement
4. Surdimensionnement d'équipement
5. Réduction de la durée de vie d'équipement
6. Déclenchements intempestifs et arrêts d'installation

28.6 Normes applicables en gestion des harmoniques

Les émissions harmoniques sont soumises à différentes normes et réglementations :

1. Normes de compatibilité pour les réseaux de distribution
2. Normes d'émission applicables aux équipements générateurs d'harmoniques
3. Recommandations des distributeurs d'énergie applicables aux installations.

Afin d'atténuer rapidement les effets des harmoniques, un triple dispositif normatif et réglementaire est actuellement en vigueur, d'après les documents énumérés ci-dessous. Les normes réglementent la compatibilité entre les réseaux de distribution et les produits. Ces normes déterminent la compatibilité nécessaire entre les réseaux électriques et les produits :

1. Les harmoniques générés par un appareil ne doivent pas perturber le réseau au-delà de certaines limites
2. Chaque appareil doit pouvoir fonctionner normalement en présence des perturbations jusqu'à des niveaux spécifiques
3. Norme CEI 61000-2-2 est applicable pour les réseaux d'électricité publics à basse tension
4. Norme CEI 61000-2-4 est applicable pour les installations industrielles à basse tension et moyenne tension

Normes de la qualité de réseaux de distribution

1. La norme EN 50160 précise les caractéristiques de l'électricité fournie par les réseaux publics de distribution
2. La norme IEEE 519 est une approche conjointe entre le distributeur d'énergie et le client pour limiter l'impact des charges non-linéaires. Par ailleurs, les distributeurs d'énergie encouragent les actions de prévention afin de réduire les dégradations de la qualité

de l'électricité, les échauffements et les altérations du facteur de puissance. Ils sont de plus en plus enclins à charger les clients pour les sources majeures des harmoniques.

28.7 Normes d'équipement

1. Norme CEI 61000-3-2 CEM Limites pour les émissions de courant harmoniques (courant appelé pour les appareils inférieur ou égal à 16 A par Phase).
2. Norme CEI 61000-3-12 CEM Limites pour les courants harmoniques produits par les appareils connectés aux réseaux publics basse tension ayant un courant supérieur à 16 A et inférieur ou égal à 75 A par Phase.

Valeurs maximales d'harmoniques acceptables

Des études internationales ont permis de rassembler des données dont l'analyse conduit à une estimation de contenus typiques d'harmoniques, souvent rencontrés dans les réseaux de distribution d'énergie.

28.8 Solutions pour atténuer les harmoniques

Il y'a trois types différents de solutions pour atténuer les harmoniques :

- a. Adaptation de l'installation
 1. Positionner les charges non linéaires en amont du réseau
 2. Regrouper les charges non linéaires
 3. Créer des sources séparées pour les charges linéaires et non linéaires
- b. Dispositifs particuliers dans l'alimentation
 1. Installation des inductances antiharmoniques
- c. Filtrage des harmoniques

Dans le cas où les actions préventives présentés en (a) et (b) ci-dessus sont insuffisantes, il est nécessaire d'équiper l'installation de dispositif de filtrage.

29 Protection contre les surcharges

Il existe trois types de filtres :

1. Passif
2. Actif
3. Hybride

28.9 Diagnostic Harmonique de Réseaux MT et BT

Diagnostic harmonique est réalisé par un ingénieur spécialiste dans le domaine des perturbations affectant les réseaux de distribution électriques et équipé de moyens d'analyses, d'équipements de simulations et de logiciels. Le recours à un expert permet de garantir que la solution propose aura des résultats efficaces (exemple : garantie d'un THDu maximum).

Tout le processus du diagnostic doit être certifié selon la dernière Norme de Gestion de la Qualité (ISO 9001: 2015).

28.10 Caractéristiques des sources et récepteurs

La protection de groupes électrogènes BT et des circuits en aval

La plupart des installations électriques industrielles et commerciales comprennent certains récepteurs importants dont il faut assurer l'alimentation, même en cas de coupure du réseau de distribution publique :

1. Soit, parce qu'il s'agit des équipements constituant une installation de sécurité (éclairage de sécurité, surpresseurs d'incendie, désenfumage, alarme, signalisation, etc.) ou
2. Soit, parce qu'il s'agit des circuits prioritaires, tels que certains équipements, dont l'arrêt entraînerait des pertes de production ou la destruction de l'outil de travail, etc. Un des moyens les plus courants pour maintenir la continuité de l'alimentation des charges dénommées « prioritaires », dans le cas où les autres sources sont défaillantes, est d'installer un groupe électrogène diesel connecté via un inverseur de source à un tableau d'alimentation de secours en réserve, à partir duquel les services prioritaires sont alimentés.

La courbe de protection de l'alternateur doit être analysée. Les normes et les exigences des applications peuvent aussi stipuler des conditions spécifiques de surcharge. Par exemple :

1. Protection contre le courant de court-circuit
2. Établissement du courant de court-circuit
3. Le courant de court-circuit est la somme :
 - d'un courant aperiodique
 - d'un courant sinusoïdal amorti

Les possibilités de réglages des dispositifs de protection contre les surcharges (ou Long retard) doivent suivre au plus près ces impositions. Notes sur les surcharges :

1. Pour des raisons économiques, le moteur thermique d'un groupe de remplacement peut être strictement dimensionné pour sa puissance nominale. S'il y a une surcharge de puissance active, le moteur diesel calera. Le bilan de puissance active des charges prioritaires doit en tenir compte.
2. Un groupe de production doit pouvoir supporter les surcharges d'exploitation :
 - surcharge pour une marche d'une heure,
 - 10 % de surcharge pour une marche 1 h toutes les 12 h (Puissance Immédiate).
3. Phase subtransitoire : A l'apparition d'un court-circuit aux bornes d'un alternateur, le courant s'établit d'abord à une valeur relativement élevée de l'ordre de 6 à 12 In pendant le premier cycle (0 à 20 milliseconde). On détermine l'impédance de court-circuit subtransitoire de l'alternateur.
4. Phase transitoire : La phase transitoire se situe de 100 à 500 ms après l'apparition du défaut. À partir de la valeur du courant de défaut de la période subtransitoire, le courant décroît jusqu'à 1,5 à 2 fois le courant In. L'impédance de court-circuit à considérer pour cette période est la réactance transitoire $X'd$ exprimée en % par le constructeur. La valeur typique est de 20 à 30%.

5. Phase permanente : La phase permanente se situe au-delà de 500 ms. Lorsque le défaut persiste, la tension de sortie s'effondre, la régulation de l'excitatrice cherche à faire remonter cette tension de sortie. Il en résulte un courant de court-circuit entretenu stabilisé :

- Si l'excitation de l'alternateur n'augmente pas pendant un court-circuit (pas de surexcitation de champ), mais se maintient au niveau précédant le défaut, le courant se stabilise à une valeur qui est donnée par la réactance synchrone X_d de l'alternateur. La valeur typique de X_d est supérieure à 200 %. Par conséquent, le courant final sera inférieur au courant à pleine charge de l'alternateur, normalement de l'ordre de 0,5 In.
- Si l'alternateur est équipé d'une excitation maximale de champ (forçage du champ) ou d'une excitation compound, la tension de «survoltage» de l'excitation fera augmenter le courant de défaut pendant 10 secondes, habituellement de 2 à 3 fois le courant à pleine charge de l'alternateur.

Lorsque le réseau BT est alimenté par la source Normal 1 de 2,000 kVA, le courant de court-circuit est de 42 kA au niveau du jeu de barres du TGBT. Lorsque le réseau BT est alimenté par la source de Remplacement 2 de 500 kVA à réactance transitoire de 30 %, le courant de court-circuit s'établit à environ 2,5 kA, soit à une valeur 16 fois plus faible qu'avec la source Normal.

29.1 Tableaux divisionnaires

Les dispositifs de protection des circuits divisionnaires et terminaux ont toujours des calibres faibles que le courant nominal de groupe électrogène. Par conséquence, les conditions sont analogues à l'alimentation par le transformateur, sauf dans des cas particuliers.

29.2 Tableau général basse tension (TGBT)

1. Le dimensionnement des dispositifs de protection des départs prioritaires est en général similaire à celui du groupe électrogène. Le réglage des protections contre les courts-circuits devra tenir compte de la caractéristique de court-circuit du groupe électrogène (voir «Protection contre les courts-circuits» précédemment).
2. La sélectivité des dispositifs de protection sur les départs prioritaires est à assurer en fonctionnement du groupe électrogène (elle peut même être imposée réglementairement pour les départs de sécurité). Il est nécessaire de vérifier le bon étagement du réglage des dispositifs de protection contre les courts-circuits des départs principaux avec celui des dispositifs de protection divisionnaires en aval (normalement réglées pour des circuits de distribution à 10 In).

REMARQUE :

En fonctionnement sur le groupe électrogène, l'utilisation de DDR basse sensibilité permet de gérer le défaut d'isolement et d'assurer la sélectivité de manière très simple.

29.3 Sécurité des personnes

En schéma IT (2ème défaut) et TN, la protection des personnes contre les contacts indirects est assurée par la protection des disjoncteurs contre les courants de court-circuit. Leur fonctionnement sur défaut doit être assuré, que l'installation soit alimentée par la source normal (Transformateur) ou par la source Remplacement (groupe électrogène).

29.4 Calcul du courant de défaut d'isolement

La réactance homopolaire x'_o exprimée en % de U_o par le constructeur X_o . La valeur typique est de 8 %.

Le courant de défaut d'isolement en schéma TN est légèrement supérieur au courant de défaut triphasé. Par exemple, en cas de défaut d'isolement sur le schéma de l'exemple précédent, le courant de défaut d'isolement est égal à 3 kA.

29.5 Les fonctions de contrôle

Du fait des caractéristiques spécifiques de l'alternateur et de sa régulation, il est nécessaire lors de la mise en œuvre de charges particulières d'assurer le contrôle des paramètres de fonctionnement appropriés de l'alternateur.

L'alternateur a un comportement différent de celui d'un transformateur :

- La puissance active qu'il fournit est optimisée pour un facteur de puissance = 0,8
- En deçà du facteur de puissance 0,8, l'alternateur peut fournir une partie de la puissance réactive, par augmentation de son excitation.

Un alternateur à vide branché sur une batterie de condensateurs peut s'auto-amorcer et monter aussi en surtension.

Il faut donc déconnecter la batterie de condensateurs utilisée pour la régulation du facteur de puissance. Cette opération peut être réalisée en transmettant une consigne d'arrêt au régulateur de la batterie (s'il est connecté au système qui gère les permutations de sources) ou en ouvrant le disjoncteur alimentant la batterie de condensateurs.

Si des condensateurs restent nécessaires, il ne faut pas dans ce cas utiliser la régulation du relais varométrique (mauvais réglage et trop lent).

29.6 Redémarrage et ré-accélération du moteur

Un alternateur peut fournir au maximum en période transitoire un courant compris entre 3 et 5 fois son courant nominal. Un moteur absorbe au démarrage environ $6 I_n$ pendant 2 à 20 s. Si la somme des puissances des moteurs est élevée, un démarrage simultané des charges entraîne un courant d'appel trop élevé qui peut être néfaste. Une forte chute de tension, due à la valeur élevée des réactances transitoire et subtransitoire de l'alternateur, se produira (20% à 30%), avec une risque de :

1. Non démarrage des moteurs
2. Échauffement lié à l'allongement du temps de démarrage dû à la baisse de tension
3. Déclenchement des dispositifs de protection thermiques.

De plus, le réseau et les actionneurs sont perturbés à cause de la chute de tension.

29.7 Charges non linéaires – Exemple d'une ASI

Il s'agit principalement de :

1. Circuits magnétiques saturés
2. Lampes à décharges, lampes fluorescentes
3. Convertisseurs électroniques
4. Équipement Informatique: PC, ordinateurs, etc.

Ces charges génèrent des courants harmoniques: lorsqu'ils sont alimentés par un groupe électrogène, une distorsion en forte tension peut apparaître du fait de la faible puissance de court-circuit de l'alternateur.

30 Alimentation Sans Interruption (ASI)

Une alimentation sans interruption, une source d'alimentation sans interruption (ASI) ou un onduleur est un appareil électrique qui fournit une alimentation de secours à une charge lorsque l'intrant de la source d'alimentation ou l'alimentation électrique de réseaux échoue. ASI est différent d'un système d'alimentation auxiliaire ou de secours ou de groupe électrogène car elle fournira une protection quasi-instantanée contre les interruptions de puissance d'entrée, en fournissant l'énergie stockée dans les batteries, les super-condensateurs ou les volants d'inertie. L'autonomie de fonctionnement de la plupart des sources d'alimentation sans interruption est relativement courte (juste quelques minutes) mais suffisante pour démarrer une source d'alimentation de secours ou arrêter correctement l'équipement protégé. Il s'agit d'un type de système d'alimentation continue.

ASI est généralement utilisé pour la protection du matériel tel que les ordinateurs, les centres de données, les équipements de télécommunication ou autres équipements électriques où une coupure de courant inattendue pourrait provoquer des blessures, décès, perturbations graves des activités ou pertes de données. Les unités d'ASI varient en dimension, des unités conçues pour protéger un seul ordinateur sans moniteur vidéo (environ 200 volts-ampères) aux grandes unités alimentant les centres de données ou les bâtiments au complet.

Le rôle principal d'un ASI est de fournir une alimentation à court terme lorsque l'intrant de la source d'alimentation échoue. Cependant, la plupart des unités ASI sont plus ou moins capables de corriger les problèmes communs d'alimentation de réseau :

- a. Pic de tension ou surtension durable
- b. Réduction momentanée ou durable de la tension d'entrée
- c. Chute de tension
- d. Bruit, défini comme un transitoire ou une oscillatoire à haute fréquence, généralement injecté dans la conduite par un équipement à proximité

- e. Instabilité de la fréquence du réseau
- f. Distorsion harmonique, définie comme un écart observé par rapport à la forme d'onde sinusoïdale idéale attendue sur la ligne.

Certains fabricants des unités ASI classent leurs produits en fonction de divers problèmes liés à l'alimentation auxquels ils répondent.

Diverses solutions techniques contribuent à cet objectif de façon plus ou moins efficace. Ces solutions peuvent être comparées en fonction de deux critères :

- a. La disponibilité de l'énergie fournie
- b. La qualité de l'énergie fournie

La disponibilité de l'énergie électrique peut être considérée comme le temps par an pendant lequel l'énergie est présente aux bornes des récepteurs. La disponibilité est surtout affectée par les coupures de l'alimentation par suite de défaillance du réseau ou de défauts électriques.

Plusieurs choix existent afin de limiter ce risque :

- a. Division des installations de façon à utiliser plusieurs sources distinctes plutôt qu'une seule
- b. Subdivision de l'installation en des circuits prioritaires et non prioritaires, où l'alimentation électrique des circuits prioritaires peut être récupérée si nécessaire par une autre source disponible
- c. Délestage, en cas de besoin, permettant d'utiliser une puissance réduite disponible pour alimenter une puissance de secours
- d. Choix du schéma des liaisons à la terre adapté aux objectifs de continuité de service (ex : régime IT)
- e. Sélection des dispositifs de protection (déclenchement sélectif) pour limiter les conséquences d'un défaut à une portion de l'installation.

Il est à noter que la seule façon de garantir la disponibilité de l'énergie vis-à-vis les coupures du réseau est de fournir, en plus des mesures ci-dessus, une source de remplacement autonome, au moins pour les récepteurs prioritaires.

Ce type de source se substitue au réseau en cas de problème, mais nécessite de prendre en compte deux facteurs :

- i) Le temps de permutation (temps nécessaire pour se substituer au réseau) dont la valeur doit être acceptable par la charge
- ii) L'autonomie de la source, c'est-à-dire le temps durant lequel la charge peut être alimentée.

La qualité de l'énergie électrique dépend de l'élimination des perturbations aux bornes des récepteurs.

Une source de remplacement est un moyen pour assurer la disponibilité de l'énergie électrique aux bornes des récepteurs, mais ne garantit pas, en plusieurs cas, la qualité de l'énergie fournie vis-à-vis des perturbations ci-dessus.

Aujourd'hui, de nombreuses applications électroniques sensibles nécessitent une alimentation en énergie électrique quasiment exempte de ces perturbations, pour ne rien dire de coupures, et ayant des tolérances plus strictes que celles du réseau.

C'est le cas, par exemple, de centres informatiques, de centraux téléphoniques et de certains systèmes de contrôle et surveillance de processus industriels.

Ces applications nécessitent des solutions qui garantissent à la fois la disponibilité et la qualité de l'énergie électrique.

ASI comprend les suivants équipements essentiels :

- i) Redresseur/chargeur, qui produit un courant continu qui charge une batterie et alimente un onduleur
- ii) Onduleur qui produit une énergie de qualité, c'est-à-dire: épurée de toutes les perturbations

du réseau, et notamment de toutes les micro-coupures, dans des tolérances compatibles avec les exigences des appareils électroniques sensibles (pour la gamme Galaxy, la tolérance d'amplitude est de $\pm 0,5\%$ et la tolérance de fréquence est de $\pm 1\%$, contre $\pm 10\%$ et $\pm 5\%$ pour les réseaux, ce qui correspond à des facteurs d'amélioration de 20 et 5, respectivement)

- iii) Batterie, qui procure une autonomie de fonctionnement suffisante (8 min à 1 h et plus) pour assurer la sécurité des personnes et des équipements en se substituant si besoin au réseau
- iv) Contacteur statique, dispositif à semi-conducteur qui permet de commuter la charge de l'onduleur sur le réseau et vice versa, sans aucune interruption de l'alimentation.

30.1 Types d'ASI statiques

Les types d'ASI statiques sont définis par la norme CEI 62040.

La norme distingue trois modes de fonctionnement :

- a. Attente passive (en anglais: passive stand-by et également appelé hors-réseau «off-line»)
- b. Interaction avec le réseau (en anglais: line-interactive)
- c. Double conversion (en anglais: double conversion et également appelé en réseau «on-line»)

Ces typologies concernent le fonctionnement des ASI par rapport à la source d'alimentation, y compris le système de distribution en amont de l'ASI.

La norme CEI 62040 définit les termes suivants :

- a. Réseau source : réseau dont la puissance est normalement disponible de façon continue, habituellement fournie par une compagnie de distribution électrique, mais parfois par la propre station de production d'énergie de l'opérateur

- b. Réseau secours : réseau prévu pour remplacer le réseau source en cas de défaillance du réseau source
- c. Réseau bypass : réseau dont la puissance est fournie à travers le bypass.

Pratiquement, une ASI dispose en général de deux entrées CA (courant alternatif) qui sont appelées dans ce guide entrée CA normal et entrée CA bypass. L'entrée CA normal, notée comme entrée réseau 1, est alimentée par le réseau source, c'est-à-dire par un câble relié à un dispositif d'alimentation du réseau amont de distribution publique ou privée.

L'entrée CA bypass, notée comme réseau 2, est alimentée par le réseau secours, c'est-à-dire par un câble relié à un dispositif d'alimentation du réseau amont autre que celui alimentant l'entrée CA normal, soutenu par une source alternative (ex: par un groupe électrogène ou autre ASI, etc.).

Lorsque le réseau secours est non disponible, l'entrée CA bypass est alimentée par le réseau source (deuxième câble parallèle à l'entrée CA normal).

L'entrée CA bypass est aussi utilisée pour alimenter le(s) réseau(x) bypass de l'ASI lorsqu'ils existent. Ainsi, le réseau bypass est alimenté par le réseau secours ou le réseau source, selon la disponibilité ou non d'un réseau secours.

30.2 ASI Fonctionnant en Mode Attente-Passive (Off-Line)

Principe de Fonctionnement

L'ASI est relié en parallèle avec l'entrée CA en attente :

a. Mode Normal

La charge est alimentée par le réseau, via un filtre qui élimine certaines perturbations et peut réaliser une régulation de la tension (la norme parle de «dispositifs additionnels de conditionnement»). L'onduleur fonctionne en mode attente passive.

b. Mode Autonomie

Lorsque la tension alternative du réseau d'entrée est hors des tolérances spécifiées de l'ASI ou en cas de défaillance de ce réseau, l'onduleur et la batterie assurent la permanence de l'alimentation de la charge après un temps de permutation très court (< 10 ms).

L'ASI continue à fonctionner sur batterie jusqu'à la fin de durée d'autonomie ou jusqu'à ce que le réseau revienne en tolérance spécifiée, ce qui provoque le transfert de l'alimentation vers l'entrée AC (mode normal).

30.3 Utilisation

Cette configuration résulte en fait d'un compromis entre un niveau acceptable de protection contre les perturbations et le coût correspondant. Elle n'est utilisable qu'avec de faibles puissances (< 2 kVA).

Elle fonctionne sans véritable contacteur statique, elle fait intervenir un temps de basculement sur l'onduleur. Ce temps est acceptable pour certaines applications unitaires, mais incompatible avec les performances requises par des systèmes plus complexes et sensibles (gros centres informatiques, centraux téléphoniques, etc.).

En outre, la fréquence n'est pas régulée et il n'y a pas de bypass.

REMARQUE :

En mode normal, la puissance alimentant de la charge ne circule pas à travers l'onduleur, ce qui explique pourquoi ce type d'ASI est parfois appelé «off-line». Ce terme est impropre, car il signifie aussi «non alimenté par le réseau», alors qu'en fait la charge est principalement alimentée par le réseau via l'entrée CA en mode normal.

C'est pourquoi la norme CEI 62040 recommande le terme «attente passive».

30.4 ASI Fonctionnant en Mode Interaction avec le Réseau (line interactive)

Principe de Fonctionnement

L'onduleur est relié en parallèle avec l'entrée CA en configuration attente, mais assure aussi la charge de la batterie. Il interagit de ce fait (fonctionnement réversible) avec le réseau d'entrée CA.

a. Mode Normal

La charge est alimentée par le réseau conditionné via une connexion parallèle de l'entrée CA et l'onduleur. L'onduleur fonctionne afin de conditionner la puissance de sortie et/ou d'assurer la recharge de la batterie. La fréquence de sortie est dépendante de la fréquence d'entrée CA.

b. Mode Autonomie

Lorsque la tension d'entrée CA est hors des tolérances spécifiées de l'ASI ou en cas de défaillance du réseau, l'onduleur et la batterie assurent la permanence de l'alimentation de la charge après un transfert sans coupure grâce à un contacteur statique qui déconnecte également l'alimentation d'entrée CA pour éviter un retour d'alimentation depuis l'onduleur.

L'ASI continue à fonctionner sur batterie jusqu'à la fin de durée d'autonomie ou jusqu'à ce que le réseau revienne en tolérance spécifiée, ce qui provoque le transfert de l'alimentation vers l'entrée CA (mode normal).

c. Mode Bypass

Ce type d'ASI peut comporter un bypass. En cas de défaillance d'une des fonctions de l'ASI, l'alimentation de la charge peut être alors transférée sur l'entrée CA bypass (alimentation par le réseau source ou secours selon l'installation).

30.4.1 Usage

Cette configuration est mal adaptée à la régulation de charge sensible en moyenne et forte puissance car la régulation de la fréquence n'est pas possible.

Pour cette raison, elle est rarement utilisée sauf pour les faibles puissances.

ASI Fonctionnant en Mode Double-Conversion (on-line)

Principe de Fonctionnement

L'onduleur est relié en série entre l'entrée CA et l'application.

i) Mode Normal

Pendant le fonctionnement normal, la puissance fournie à la charge transite par la chaîne convertisseur/chargeur-onduleur qui réalise une double conversion (alternatif-continu-alternatif), d'où la dénomination utilisée.

ii) Mode Autonomie

Lorsque la tension d'entrée CA est hors des tolérances spécifiées de l'ASI ou en cas de défaillance du réseau, l'onduleur et la batterie assurent la permanence de l'alimentation de la charge, après un transfert sans coupure grâce à un contacteur statique.

L'ASI continue à fonctionner sur batterie jusqu'à la fin de durée d'autonomie ou jusqu'à ce que le réseau revienne en tolérance spécifiée, ce qui provoque le transfert de l'alimentation vers l'entrée CA (mode normal).

iii) Bypass Mode

Ce type d'ASI comporte en général un bypass statique, le plus souvent appelé contacteur statique.

L'alimentation de la charge peut alors être transférée sans coupure sur l'entrée CA bypass (alimentation par le réseau source ou le réseau secours selon l'installation), dans les cas suivants :

- Défaillance de l'ASI
- Transitoire de courant de charge (courant d'appel ou d'élimination de défaut)
- Pointes de charge

Cependant, la présence d'un bypass suppose que les fréquences d'entrée et de sortie sont identiques et, si les niveaux de tension sont différents, un transformateur de bypass doit être prévu.

Pour certaines charges, il faut synchroniser l'ASI avec le réseau d'alimentation du bypass pour maintenir la permanence de l'alimentation. Par ailleurs, quand l'ASI est en mode bypass, une perturbation sur la source d'entrée CA peut être transmise directement vers la charge, puisque l'onduleur n'intervient plus.

REMARQUE :

Une autre voie de bypass, appelée souvent bypass de maintenance, est disponible pour les fins de maintenance. Il est fermé par un interrupteur manuel.

30.4.2 Usage

Dans cette configuration, il n'y a pas de temps de permutation lors des transferts de la charge sur onduleur du fait de la présence d'un contacteur statique. De plus, la tension et la fréquence de sortie sont indépendantes des conditions de la tension et de la fréquence d'entrée. Ceci signifie que l'ASI, lorsqu'elle est conçue pour à cet effet, peut fonctionner comme convertisseur de fréquence.

En fait, c'est la principale configuration utilisée pour les moyennes et fortes puissances (à partir de 10 kVA). C'est cette configuration qui sera envisagée dans la suite de ce chapitre.

REMARQUE :

Ce type d'ASI est souvent appelé «on-line», signifiant que la charge est alimentée en permanence par l'onduleur, quelles que soient les conditions de la source CA d'entrée. Ce terme est impropre, car il signifie aussi «alimenté par le réseau», alors qu'en fait la charge est alimentée par la puissance reconstituée par le système de double conversion.

C'est pourquoi la norme CEI 62040 recommande le terme «double conversion».

30.5 Batteries

30.6 Choix du Type de Batterie

Une batterie est composée des éléments raccordés en série qui peuvent être ouverts ou type à recombinaison.

Il existe deux principales familles de batteries :

- Batteries au nickel-cadmium.
- Batteries au plomb.
- Éléments ouverts (batteries au plomb-antimoine): Ce sont pourvus des orifices qui permettent de libérer dans l'atmosphère l'oxygène et l'hydrogène produits lors des différentes réactions chimiques. Rétablir la réserve d'électrolyte par adjonction d'eau distillée ou déminéralisée.
- Éléments à recombinaison (batteries au plomb-cadmium, plomb pur, plomb-étain): Le taux de recombinaison de gaz est au moins égal à 95% et ne nécessitent donc pas d'adjonction d'eau pendant l'exploitation. Par extension, il sera fait référence aux batteries ouvertes ou à recombinaison (ces dernières sont d'ailleurs souvent appelées «batteries étanches»).

Les principaux types de batteries utilisés en association avec les ASI sont :

- Batteries étanches au plomb, utilisées dans 95% des cas car ce sont faciles à maintenir et ne nécessitent pas de local spécifique.
- Batteries ouvertes au plomb.
- Batteries ouvertes au nickel-cadmium.

Ces 3 types de batterie peuvent être proposés, suivant les facteurs économiques et les exigences d'exploitation de l'installation, avec toutes les disponibilités durées de vie. La puissance et l'autonomie peuvent être adaptées selon les besoins d'utilisateur. Les batteries proposées sont aussi parfaitement adaptées aux applications d'ASI en ce qu'elles sont le résultat d'un travail en partenariat avec les principaux fabricants de batteries.

30.7 Choix de l'Autonomie

Le choix dépend de :

- La durée moyenne des défaillances du réseau d'alimentation.
- Les moyens éventuels de secours à long terme (groupe électrogène, etc.).
- Type d'application.

La gamme typique généralement propose est :

- Autonomies en standard de 10, 15 ou 30 minutes.
- Autonomies à la carte.

Les règles générales suivantes s'appliquent :

1. Applications informatiques : L'autonomie de la batterie doit être suffisante pour couvrir la durée des procédures de sauvegarde des fichiers et d'arrêt du système nécessaires pour un arrêt contrôlé du système informatique. En fait, le service informatique détermine l'autonomie nécessaire, en fonction de ses contraintes.
2. Processus industriel: Le calcul de l'autonomie doit prendre en compte le coût économique lié à une interruption du process et le temps de redémarrage de l'installation.

De plus en plus, les batteries à recombinaison paraissent comme le choix du marché pour les raisons suivantes :

- Pas d'entretien
- Mise en œuvre facile
- Installation dans tous types de locaux (salles informatiques, locaux techniques non spécifiquement destinés aux batteries, etc.). Dans certains cas, cependant, les batteries ouvertes sont privilégiées, notamment pour:
- Durée de vie prolongée
- Longues autonomies

30.8 Très forte puissances

Les batteries ouvertes doivent être installées dans des locaux spéciaux respectant des réglementations précises et nécessitant un entretien approprié.

30.9 Modes d'installation

Selon la gamme d'ASI, la puissance et l'autonomie de la batterie, la batterie est :

- Type étanche et intégrée dans le coffret ASI
- Type étanche et intégrée dans dans une à trois coffrets
- Type ouvert ou étanche et montage en baie

Dans ce cas, le mode d'installation peut être :

- En étagères: Ce mode d'installation est possible pour les batteries étanches ou ouvertes sans entretien qui ne nécessitent pas de remise à niveau de leur électrolyte.
- En gradins: Ce mode d'installation est convenable pour tout type de batterie, en particulier pour les batteries ouvertes, car il facilite la vérification des niveaux et le remplissage.
- En coffrets: Ce mode d'installation est convenable pour les batteries étanches. C'est simple à mettre en œuvre et offre une sécurité maximale.

30.10 Les Schémas de Liaisons à la Terre des Installations avec ASI

L'application des Systèmes de Protection, exigés par les normes, dans les installations comprenant ASI nécessite un certain nombre de précautions pour les raisons suivantes :

- a. L'ASI joue un double rôle
- b. Récepteur pour le réseau amont
- c. Source d'énergie pour le réseau aval

- d. Lorsque la batterie n'est pas installée en coffret, un défaut d'isolement sur le système de Courant Continu peut entraîner la circulation d'une composante différentielle à courant résiduel. Cette composante est susceptible de perturber le fonctionnement de certains dispositifs de protection, notamment les dispositifs différentiels à courant résiduel utilisés pour la protection des personnes.

30.11 Protection contre les contacts directs (cf. Tableau 3)

Toutes les installations sont conformes aux exigences applicables car l'équipement est installé dans des coffrets offrant un degré de protection IP 20. Cela est vrai même pour la batterie lorsqu'elle est installée dans un coffret.

Quand les batteries ne sont pas installées dans un coffret, c'est-à-dire dans un local spécifiquement aménagé, les mesures présentées à la fin de ce chapitre doit être appliqués.

REMARQUE :

Le schéma TN (version TN-S ou TN-C) est le plus souvent recommandé dans le cas d'alimentation de systèmes informatiques.

30.12 Points essentiels à vérifier pour les ASI

La figure 7 montre tous les points essentiels à interconnecter ainsi que les dispositifs à installer (transformateurs, DDR, etc.) pour assurer la conformité de l'installation avec les normes de sécurité.

30.13 Choix de schémas de protection

Les disjoncteurs ont un rôle essentiel dans une installation, mais leur importance n'apparaît le plus souvent que lors de phénomènes accidentels et peu fréquents. Le meilleur calcul d'ASI et le meilleur choix de configuration peuvent être compromis par une erreur dans la détermination d'un seul disjoncteur.

30.14 Choix des disjoncteurs

Le choix des schémas de protection par déploiement de disjoncteurs a un rôle essentiel dans une installation, mais leur importance apparaît souvent lors des événements accidentels et peu fréquents. Le meilleur calcul d'ASI et le meilleur choix de configuration peuvent être compromis par une erreur dans la détermination d'un seul disjoncteur.

Choix de disjoncteur :

- Calibre – Le calibre sélectionné (courant assigné I_n) pour le disjoncteur doit avoir la valeur immédiatement supérieure au courant assigné du câble aval protégé.
- Pouvoir de coupure – Le pouvoir de coupure doit avoir la valeur immédiatement supérieure au courant de court-circuit pouvant survenir au point d'installation.

Figure 8 montre comment sélectionner les disjoncteurs.

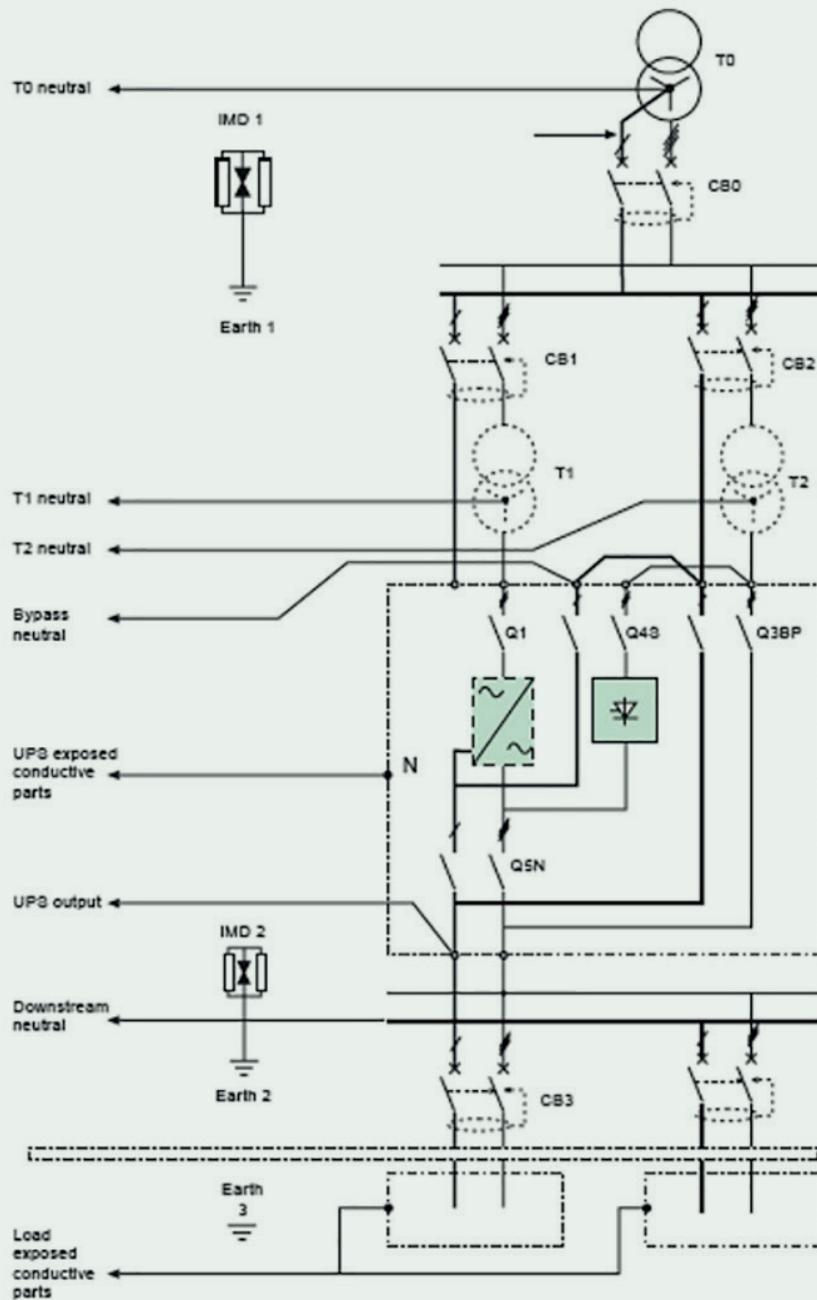


Figure 7: Points essentiels à connecter dans les schémas de liaison à la terre

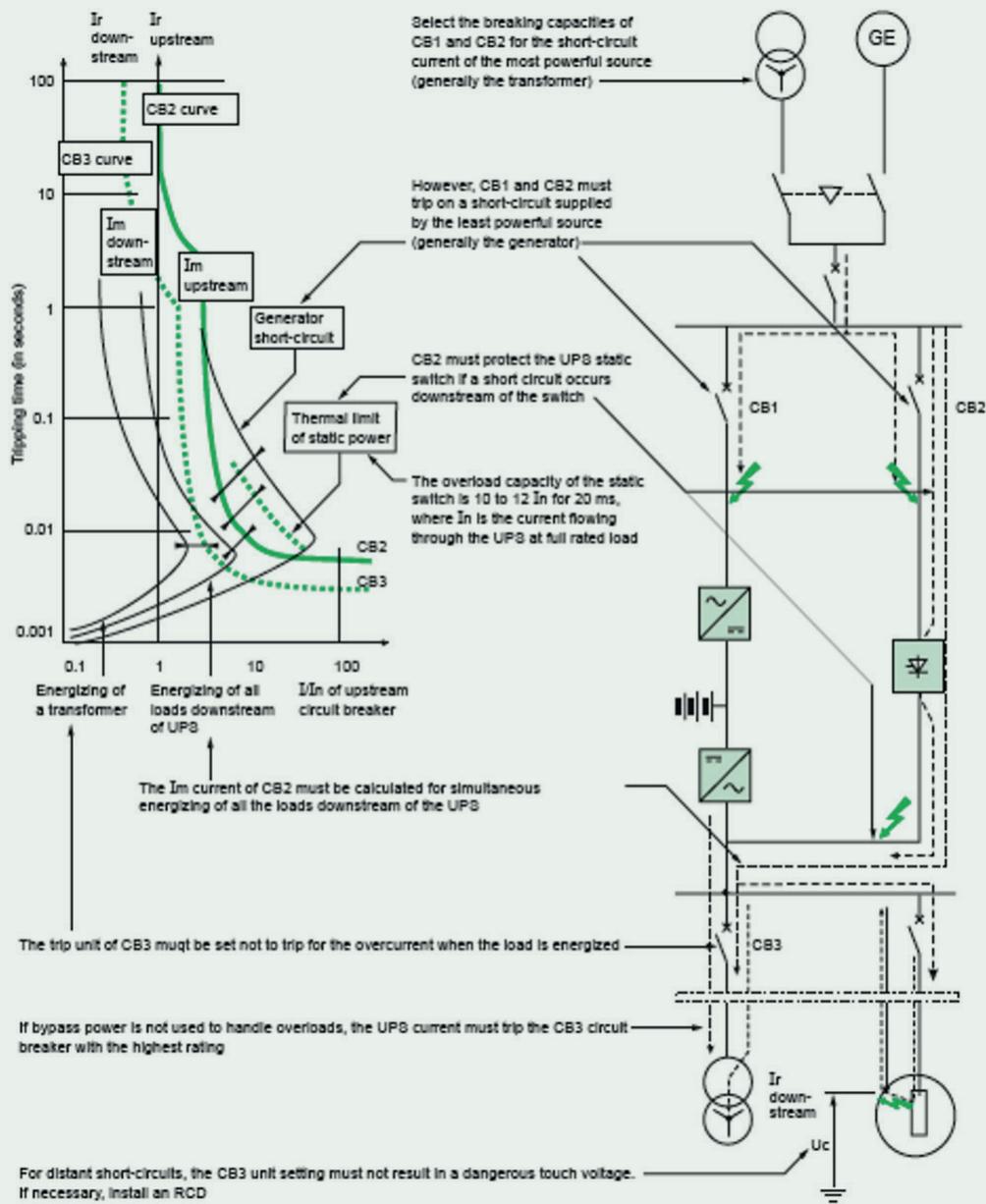


Fig. N25 : Circuit-breakers are submitted to a variety of situations

Figure 8

31 Alimentations de Remplacement

Les alimentations de remplacement comprennent, sans s'y limiter, les groupes électrogènes basse tension et les installations photovoltaïques (PV).

31.1 Général

Une installation qui intègre des alimentations de remplacement est conçue pour alimenter, en continu ou occasionnellement, toute ou une partie de l'installation avec les arrangements d'alimentation suivants :

- a. Alimentation d'une installation ou d'une partie de l'installation qui n'est pas reliée à l'alimentation principale d'un fournisseur;
- b. Alimentation d'une installation ou d'une partie de l'installation comme un alternative à l'alimentation principale d'un fournisseur; et
- c. Combinaisons appropriées de ce qui précède.

REMARQUE:

Les exigences du fournisseur doivent être vérifiées avant d'installer un groupe électrogène dans une installation reliée à l'alimentation principale d'un fournisseur.

REMARQUE:

Cette partie du guide ne couvre pas l'alimentation d'une installation fonctionnant en parallèle avec l'alimentation principale (cogénération).

31.2 Exigences pour les sources de remplacement d'alimentation

Lorsqu'une forme d'alimentation de remplacement (alimentation de secours, ASI, etc.) est reliée à une installation électrique, une notification à cet effet doit être affichée au contacteur principal de l'installation et où cette alimentation;

- a. alimente uniquement certains circuits d'un tableau de distribution, un indicateur de mise sous tension (visible ou audible) doit être fourni sur chacun de ces tableaux de distribution ainsi qu'un avis indiquant que le contacteur principal d'alimentation de secours doit également être éteint en cas d'urgence.
- b. n'alimente qu'une partie de l'installation électrique, la notification doit être aussi affichée sur chaque tableau de distribution dans cette partie d'installation.

Les moyens d'excitation et de commutation doivent être adaptés à l'utilisation prévue du groupe électrogène, ainsi que la sécurité et le bon fonctionnement des autres sources d'alimentation ne doivent pas être altérés par la centrale électrique.

Le courant potentiel de court-circuit et le courant potentiel de défaut à la terre doivent être évalués pour chaque source d'alimentation ou pour combinaison de sources, qui peut fonctionner indépendamment des autres sources ou combinaisons.

La valeur nominale de court-circuit des dispositifs de protection au sein de l'installation qui sont, si nécessaire, reliés à l'alimentation principale, ne doit pas être dépassée pour n'importe quelle méthode prévue d'exploitation des sources.

Lorsque l'alimentation de remplacement est destinée à fournir une alimentation à une installation qui n'est pas reliée à l'alimentation principale, ou à fournir une alimentation comme un remplacement commuté à l'alimentation principale, la capacité et les caractéristiques d'exploitation de l'alimentation de remplacement ne doivent pas causer un danger ou des dommages à l'équipement après la connexion ou la déconnexion de toute charge prévue, en raison d'une déviation de tension ou de fréquence par rapport à la plage standard.

32 Mesures

Des moyens doivent être prévus pour déconnecter automatiquement ces parties de l'installation, comme cela peut être nécessaire si la capacité de l'alimentation de remplacement est dépassée.

Lorsqu'une alimentation de remplacement est fournie à une installation ou à une partie d'installation comme un remplacement commuté à l'alimentation principale, le dispositif de commutation de réglage doit déconnecter l'alimentation principale avant que l'alimentation de remplacement soit commutée. Le dispositif de commutation de réglage doit être verrouillé de manière à ce que l'alimentation principale et l'alimentation de remplacement ne puissent pas être reliées à l'installation ou à une partie de l'installation en même temps.

Sauf si autrement est autorisé par les règlements des pays respectifs, lorsqu'une prise de courant est installée dans un circuit en alimentation de secours, ce circuit doit être protégé par un dispositif de protection contre fuite à la terre avec un courant de déclenchement de fuite à la terre (courant résiduel nominal) $I_{\Delta n}$ non supérieur à 30 mA.

Un générateur de 230 V avec une liaison à la terre V-O-V (prise centrale sur un enroulement mis à la terre) ne doit pas être lié à une installation électrique fixe.

REMARQUE :

Un tel générateur peut être utilisé comme une unité autonome pour alimenter des appareils spécifiques.

Ce chapitre est une introduction aux différentes applications de mesure et aux principales normes pertinentes pour ces différentes applications. Il existe des différents types d'applications qui nécessitent des mesures. Fondamentalement, les applications peuvent être divisées entre 5 catégories, Disponibilité et fiabilité de l'alimentation (cf. Figure 9).

Pour assurer le bon fonctionnement de l'installation électrique, il est recommandé de fournir au minimum les mesures des principales caractéristiques de l'alimentation, telles que la tension, les courants, la fréquence et/ou la puissance active. Certains phénomènes électriques peuvent avoir un impact sur les actifs de l'installation et sur le fonctionnement à l'intérieur d'une usine (par exemple, un déséquilibre de tension peut réduire la durée de vie des moteurs, des creux de tension peuvent interrompre un processus, etc.).

Le tableau 2 décrit les principaux problèmes qui peuvent se produire.

32.1 Qualité de l'énergie réseau

Certains règlements ou contrats spécifiques engagent les fournisseurs d'énergie à maintenir les caractéristiques de tension en tous points d'alimentation dans des limites spécifiées. Ces spécifications précisent des limites ou des valeurs relatives à la tension, la fréquence, aux variations rapides de tension, harmoniques, inter-harmoniques, au déséquilibre, aux creux, surtensions, interruptions et au flicker.

Habituellement, les mesures sont effectuées côté fournisseur d'énergie (afin de vérifier que l'énergie délivrée est conforme au contrat) et côté consommateur (afin de vérifier que l'énergie reçue est conforme au contrat) avec des Instruments de Qualité d'Alimentation de classe A selon la CEI 61000-4-30.

32.2 Facturation

La facturation est le processus qui permet aux fournisseurs d'énergie ou leurs représentants de facturer leurs clients selon un contrat défini, pour des usages ou des services mesurés. Ces applications sont couvertes par des normes

internationales, régionales ou locales, en plus de spécifications du distributeur. Ces dispositions visent à protéger les consommateurs et les fournisseurs d'énergie contre les mesures erronées ou frauduleuses. Comme dans la plupart des cas, le compteur utilisé par le fournisseur d'énergie est installé dans les locaux du consommateur, c'est pour cela que l'attention est portée sur l'évitement des fraudes. Cette intention est réalisée grâce à la définition des exigences :

- sur la performance du compteur (précision des compteurs d'énergie électrique active, construction de compteurs où une évaluation par un tiers peut être demandée)
- sur la sécurisation des compteurs contre la falsification (étanchéité du boîtier du compteur, sécurisation du logiciel de métrologie, sécurisation des paramètres de configuration du compteur et des interfaces)
- sur le marquage des compteurs, y compris le marquage de l'année de fabrication, afin de permettre la vérification de la précision

avec un intervalle de temps défini par les règlements nationaux. Les dispositifs pour les applications de facturation possèdent des exigences spécifiques de métrologie légale et sont, donc, sujets à des exigences particulières telles que la vérification périodique (en général tous les 6 à 10 ans) conformément aux réglementations locales.

32.3 Répartition des Coûts, Vérification de Facture et Sous-Facturation

La sous-facturation est le processus qui permet à un propriétaire, société de gestion de biens, syndicat de copropriété, association de propriétaires ou autres propriétés à locataires multiples de partager une facture sur plusieurs locataires, pour des usages ou des services mesurés. Ces frais sont généralement combinés avec les autres frais d'établissement d'un locataire. Puisque le compteur utilisé pour la sous-facturation est généralement installé dans un local électrique non accessible par le locataire, le risque de fraude est très limité. Ceci est la raison pour laquelle les

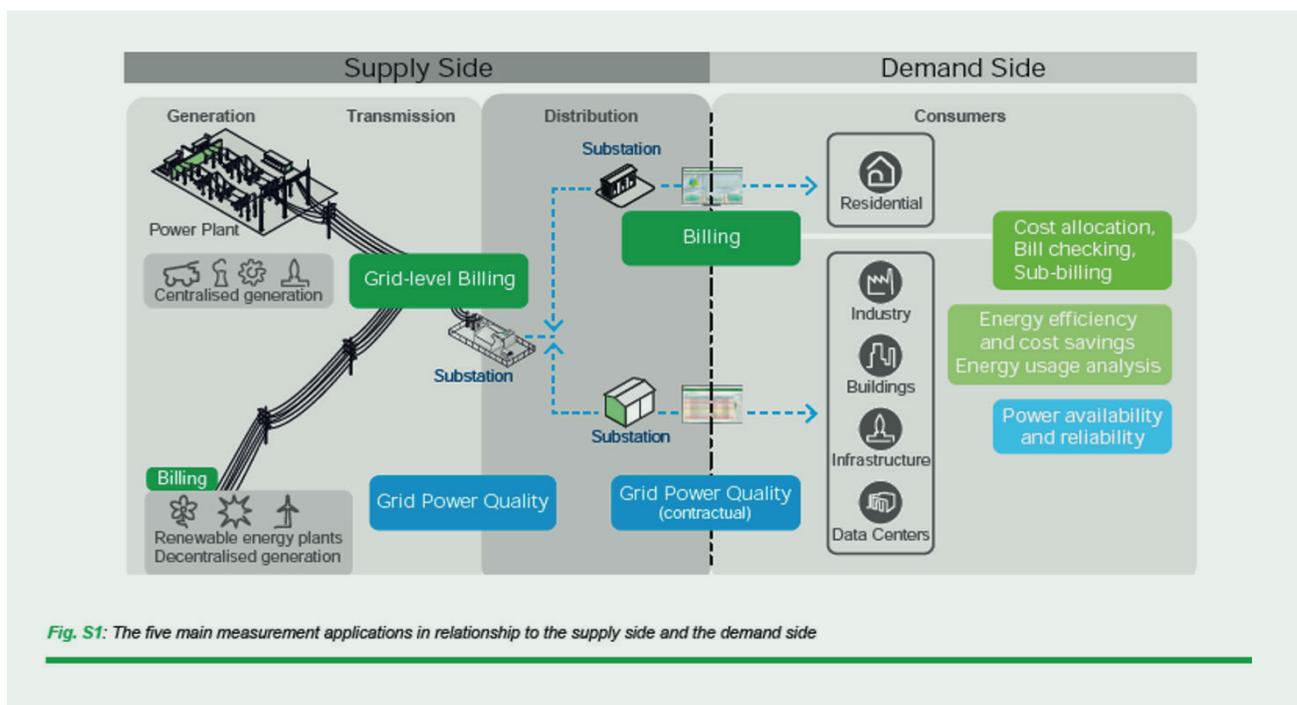


Fig. S1: The five main measurement applications in relationship to the supply side and the demand side

Figure 9

dispositifs conformes à la CEI 61557-12 ainsi que des dispositifs utilisés pour des applications de facturation peuvent être utilisés pour des applications de sous-facturation. Une attention particulière devrait être portée aux aspects environnementaux où le dispositif utilisé pour la sous-facturation devant respecter la CEM, la température et l'environnement mécanique. Dans tous les cas, les appareils de mesure utilisés dans des tableaux et armoires pour la sous-facturation doivent se conformer à la norme CEI 61557-12.

La répartition des coûts est le processus qui permet à un gestionnaire d'installation de répartir les coûts de l'énergie vers les centres de coûts internes qui consomment de l'énergie (par exemple les usines, ateliers, ...).

La vérification de facture est le processus qui permet aux clients de vérifier que la facture envoyée par les fournisseurs d'énergie ou leurs représentants est correcte.

32.4 Dispositif de Mesure et de Surveillance du Réseau Électrique (PMD)

Les appareils numériques remplacent de plus en plus les appareils analogiques dans les installations électriques. Ils assurent une mesure plus précise de nouvelles valeurs et mettent celles-ci à la disposition des utilisateurs aussi bien en local qu'à distance. Les dispositifs destinés à assurer la surveillance ont différentes caractéristiques qui nécessitent un système de référence commun. Ce système doit permettre aux utilisateurs de faire des choix plus faciles en termes de niveaux de performance, de fiabilité et d'interpréter les différents paramètres mesurés.

Tous ces différents dispositifs de mesure (dénommés «PMD» pour «Power Measuring and Monitoring Devices») doivent répondre aux exigences de la norme internationale CEI 61557-12: «Sécurité électrique dans les réseaux de distribution basse tension de 1000 V CA et 1500 V CC – Dispositifs de contrôle, de mesure ou de surveillance de mesures de protection – Partie 12: Dispositifs de mesure et de surveillance du réseau électrique (PMD)». La norme donne une liste des principales exigences applicables aux PMD avec des conseils sur les capteurs à utiliser (au cas où des capteurs sont requis).

32.5 Fonctions des PMD

Tous les paramètres électriques possibles à mesurer sont inscrits. Pour chaque paramètre, une liste d'exigences est spécifiée, comme la plage nominale de fonctionnement, la plage des grandeurs d'influence, les techniques de mesure, etc.

Les paramètres électriques considérés sont présentés ici :

1. Énergie active (les classes sont équivalentes aux classes définies dans la CEI 62053-21 et la CEI 62053-22),
2. Énergie réactive (les classes sont équivalentes aux classes définies dans la CEI 62053-23),
3. Énergie apparente,
4. Puissance active, réactive et apparente,
5. Fréquence,
6. Valeur efficace des courants phases et neutre,
7. Valeur efficace de la tension,
8. Facteur de puissance,
9. Creux de tension et surtension,
10. Interruption de tension,
11. Déséquilibre de tension,
12. Tensions harmoniques et distorsion,
13. Courants harmoniques et distorsion,
14. Valeurs maximale, minimale, crête et moyenne de la puissance.

33 Marquage

Selon la norme internationale CEI 61557-12, les dispositifs ont un code désignant leurs options d'installation, la gamme de température de fonctionnement et la classe de précision. En conséquence, la sélection et l'identification de ces dispositifs sont devenues beaucoup plus faciles.

33.1 Incertitude sur une plage de mesure

La notion de classe de performance (par exemple: classe 1 pour la mesure de l'énergie active) spécifiée par la norme IEC 61557-12 est beaucoup plus qu'une exigence reliée à l'incertitude au courant nominal.

- **Incertitude intrinsèque:** la conformité implique le respect des performances avec 2 ensembles de conditions de référence
- **Incertitude d'exploitation:** la conformité implique le respect des performances avec 12 grandeurs d'influence environnementales et électromagnétiques qui affectent généralement le fonctionnement des PMD
- **Incertitude globale du système:** certaines informations sont fournies sur la façon d'estimer l'incertitude d'un PMD associé à un capteur externe.

33.2 Incertitude intrinsèque

L'incertitude intrinsèque est l'incertitude d'un instrument de mesure lorsqu'il est utilisé dans des conditions de référence (par exemple à 23°C) pour différentes valeurs de Facteur de Puissance. Dans la présente norme, c'est un pourcentage de la valeur mesurée (lectures).

Les limites d'incertitude intrinsèque de classe 1 et 0,2 pour la mesure de l'énergie active à Facteur de Puissance = 1 sont conformes au tableau 8 de la CEI 61557-12.

33.3 Incertitude d'exploitation

L'incertitude d'exploitation est l'incertitude dans les conditions assignées de fonctionnement (y compris les dérives reliées à la température, la fréquence, CEM et autres).

Le tableau 9 de la CEI 61557-12 spécifie les essais et la variation maximale d'incertitude due à diverses grandeurs d'influence, telles que la température ambiante, la fréquence, le déséquilibre, les harmoniques et la CEM.

33.4 Incertitude globale du système

L'incertitude globale du système est l'incertitude incluant l'incertitude instrumentale de plusieurs instruments séparés (capteurs, câbles, instruments de mesure, etc.) dans les conditions de fonctionnement nominales. Dans le cas où les capteurs sont intégrés dans le wattmètre, l'incertitude globale du système et l'incertitude d'exploitation sont les mêmes. Dans le cas où les capteurs sont externes, il est recommandé d'utiliser des capteurs de la même classe de performance que le wattmètre.

Appendix A: Tableaux

	TT	TN-S	TN-C	IT1 ^(a)	IT2 ^(b)	Commentaires
Caractéristiques Électriques						
Courant de défaut	-	--	--	+	-	Seul le schéma IT offre des courants de 1er défaut quasi-négligeables
Tension de défaut	-	-	-	+	-	En schéma IT, la tension de défaut est très faible au 1er défaut mais très élevée au 2ème défaut
Tension de contact	+/--	-	-	+	-	En schéma TT, la tension de contact est très faible si le schéma est équipotentiel, sinon c'est élevé
Protection						
Protection des personnes contre les contacts indirects	+	+	+	+	+	Tous les SLT (schéma de liaison à la terre) sont équivalents, si les règles sont respectées
Protections des personnes en cas d'alimentation par un groupe de secours	+	-	-	+	-	Les schémas où la protection est assurée par des DDR sont insensibles à un changement d'impédance interne de la source d'alimentation
Protection incendie (par DDR)	+	+	Non permis	+	+	Tous les SLT où les DDR peuvent être utilisés sont équivalents. Le schéma TN-C interdit dans les locaux où il existe un risque d'incendie
Surtensions						
Surtension permanente	+	+	+	-	+	Surtension phase terre est permanente en schéma IT en cas de 1 ^{er} défaut d'isolement
Surtension transitoire	+	-	-	+	-	Schémas avec des courants de défaut de forte intensité peuvent créer une surtension transitoire
Surtension en cas de rupture du transformateur (primaire/secondaire)	-	+	+	+	+	Dans les schémas TT, il y'a un déséquilibre de tension entre les différentes prises de terre. Les autres schémas sont interconnectés à une seule prise de terre
Compatibilité Électromagnétique (CEM)						
Immunité au coup de foudre au sol	-	+	+	+	+	Dans le schéma TT, il peut y avoir un déséquilibre de tension entre les prises de terre. Dans le schéma TT, il existe une boucle de courant entre les deux prises de terre séparées.
Immunité au coup de foudre sur ligne MT	-	-	-	-	-	Tous les SLT sont équivalents quand un coup de foudre tombe directement sur le réseau MT
Émission permanente d'un champ électromagnétique	+	+	-	+	+	La connexion du PEN à toutes les structures métalliques d'un bâtiment est favorable à la génération permanente de champs électromagnétiques
Non équipotentialité transitoire du PE	+	-	-	+	-	Le PE n'est plus équipotentiel en cas de courants de défaut de forte intensité

	TT	TN-S	TN-C	IT1 ^(a)	IT2 ^(b)	Commentaires
Continuité de service						
Coupure au premier défaut	-	-	-	+	+	Seul le schéma IT évite le déclenchement au 1er défaut d'isolement
Creux de tension pendant le défaut d'isolement	+	-	-	+	-	Les schémas TN-S, TN-C et IT (2 ^{ème} défaut) génèrent des courants de défauts de haute intensité qui peuvent provoquer des creux de tension de phase
Installation						
Appareils spécifiques	-	+	+	-	-	Le schéma TT nécessite l'utilisation de DDR. Le schéma IT nécessite l'utilisation de CPI
Nombre de prises de terre	-	+	+	-/+	-/+	Le schéma TT nécessite deux prises de terre distinctes. Le schéma IT offre le choix entre une ou plusieurs prises de terre
Nombre de câbles	-	-	+	-	-	Seul le schéma TN-C offre, dans certains cas, une réduction du nombre de câbles
Maintenance						
Coût de réparation	-	--	--	-	--	Le coût de la réparation dépend des dommages causés par l'amplitude du courant de défaut
Dommages à l'installation	+	-	-	++	-	Pour les schémas permettant des courants de défaut de forte intensité, il est nécessaire d'effectuer une vérification de l'installation après avoir éliminé le défaut

Tableau 1: Comparaison des schémas de liaisons à la terre.

Paramètre	Mesure	Influence sur l'efficacité énergétique de l'installation	Influence sur les performances de l'installation
Facteur de Puissance (PF or cos phi)	PF	Faible PF génère des pertes supplémentaires. Le fournisseur d'énergie facture des pénalités au client	Échauffement des câbles (besoin de surdimensionnement des câbles)
Tension et courant harmoniques	THDu	Faible PF génère des pertes supplémentaires dans l'installation. Le fournisseur d'énergie facture des pénalités au client	Défaillance précoce de certains dispositifs, notamment les moteurs
Écart de tension permanents ou fréquents	U	Les harmoniques de séquence négative (u2) ralentissent les moteurs. Les harmoniques génèrent des pertes supplémentaires dans l'installation	Défaillance précoce de certains dispositifs, notamment les moteurs
Déséquilibre de tension	Uimb	Les équipements peuvent fonctionner en dehors de leur plage de tension assignée, ce qui conduit à une surconsommation, notamment les moteurs	Défaillance précoce de certains dispositifs, notamment les moteurs
Creux de tension et coupures	Udip Uint	Déséquilibre de tension génère des pertes supplémentaires dans les moteurs	Interruption du processus avec pertes financières
Fréquence	f	–	Modification de la vitesse des machines tournantes selon la fréquence
Flicker ou RVC	Pst RVC	–	Ces phénomènes peuvent générer des phénomènes perturbateurs concernant l'éclairage

Tableau 2: Principaux problèmes pouvant se produire dans les réseaux électriques et leurs conséquences possibles.

Type de SLT	Schéma IT	Schéma TT	Schéma TN
Exploitations	<ul style="list-style-type: none"> • Signalisation du 1^{er} défaut d'isolement • Localisation et élimination du 1^{er} défaut • Coupure au 2^{ème} défaut 	<ul style="list-style-type: none"> • Coupure au 1^{er} défaut d'isolement 	<ul style="list-style-type: none"> • Coupure au 1^{er} défaut d'isolement
Technique de protection des personnes	<ul style="list-style-type: none"> • Interconnexion et mise à la terre des éléments conducteurs • Surveillance du 1^{er} défaut en utilisant un contrôleur permanent d'isolement (CPI) • Un 2^{ème} défaut entraîne une coupure de circuit (disjoncteur ou fusibles) 	<ul style="list-style-type: none"> • Mise à la terre des éléments conducteurs associés à l'emploi de dispositifs différentiels • 1^{er} défaut d'isolement entraîne une coupure par détection du courant de fuite 	<ul style="list-style-type: none"> • Interconnexion et mise à la terre des des éléments conducteurs et du neutre impérative • 1^{er} défaut d'isolement entraîne une coupure par détection de surintensité (disjoncteur ou fusible)
Avantages et inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Solution assurant la meilleure continuité de service (signalisation du 1^{er} défaut) • Nécessité d'un personnel de surveillance compétent (localisation du 1^{er} défaut) 	<ul style="list-style-type: none"> • Solution la plus simple en termes de conception et d'isolement • Aucun contrôleur permanent d'isolement (CPI) requis • Mais, chaque défaut amène une coupure du circuit concerné 	<ul style="list-style-type: none"> • Solution économique en termes d'installation • Conception difficile (calcul des impédances de boucle) • Personnel d'exploitation compétent requis • Circulation de forts courants de défaut

Tableau 3: Caractéristiques principales des schémas de liaisons à la terre

