

# Chapitre 1

## Problèmes généraux des installations électriques

### 1.1. Terminologies, classifications

Les *installations électriques* définissent un ensemble d'équipements électriques interconnectés dans un espace donné, qui forment un entier et qui ont un but fonctionnel bien déterminé.

Par *équipement électrique* on comprend, en général, tous dispositifs utilisés pour la production, le transport, la distribution ou l'utilisation de l'énergie électrique. L'utilisation de l'énergie électrique, comme but final du processus de production, transport et distribution, définit la catégorie distincte d'équipements, appelés récepteurs. Les *récepteurs électriques* sont des dispositifs qui transforment l'énergie électrique dans une autre forme d'énergie utile.

Les récepteurs électriques peuvent être:

- des récepteurs d'éclairage: les luminaires avec les sources électriques d'éclairage;
- des récepteurs de force: électromécanique (moteurs électriques, électro-aimants), électrothermiques (fours électriques, agrégats de soudure) ou électrolytiques (bains d'électrolyse).

En pratique, les notions d'installation et d'équipement sont étroitement liées. Un dispositif considéré comme équipement des installations, peut avoir lui-même des installations électriques propres et un équipement suffisamment complexe et divers.

Les installations électriques se classifient d'après différents critères comme: le rôle fonctionnel, la position par rapport au processus énergétique, le lieu d'emplacement, le niveau de la tension, la fréquence et le moyen d'assurance de la protection.

**a)** D'après le rôle fonctionnel, les installations électriques peuvent être réparties de la manière suivante:

- installations de production de l'énergie électrique correspondant aux différents types de centrales électriques ou à certains groupes électrogènes;
- installations de transport de l'énergie électrique qui comprennent des lignes électriques (raccord, distributeur, colonne et circuit);
- installations de distribution de l'énergie électrique - des stations électriques, des postes de transformation et des tableaux de distribution;

- installations d'utilisation de l'énergie électrique qui, d'après le type du récepteur, peuvent être: des installations de force et des installations d'éclairage;

- installations auxiliaires dans lesquelles on distingue:

- des installations qui assurent une distribution économique de l'énergie électrique (la compensation de l'énergie réactive);

- des installations pour la protection du personnel contre les électrocutions (connexion de terre, mise à nul, etc.), pour la protection des bâtiments et des biens (les paratonnerres, les installations de signalisation en cas d'incendie) et les installations de télécommunications.

**b)** D'après la position par rapport au processus énergétique, on distingue les types suivants:

- installations de courants forts, c'est-à-dire des installations électriques de production, de transport, de distribution et d'utilisation de l'énergie électrique;

- installations de courants faibles, c'est-à-dire des installations d'automatisation, de mesure et de contrôle (AMC), de signalisation, des installations contre les incendies, et des installations de télécommunications.

Les installations complexes se composent par circuits primaires ou de force et par circuits secondaires ou de commande. Les deux types des circuits se distinguent du point de vue fonctionnel, en installations de courants forts et installations de courants faibles.

**c)** D'après le lieu d'emplacement on distingue:

- les installations placées sur l'outillage;

- les installations placées à l'intérieur des bâtiments;

- les installations placées à l'extérieur.

**d)** D'après le niveau de tension, on a la classification suivante:

- installations à basse tension (BT), dont la tension de travail se situe au dessous de 1 kV;

- installations à tension moyenne (MT), avec des tensions de travail entre 1 et 20 kV;

- installations à haute tension (HT), avec des tensions de travail entre 35 et 110 kV;

- installations à très haute tension, avec des valeurs plus grandes ou égales à 220 kV.

Les réglementations actuelles distinguent les installations d'après le niveau de la tension en deux catégories: installations à basse tension (avec des tensions de travail au dessous de 1000 V) et installations à haute tension (avec des tensions de travail de plus de 1000 V).

e) D'après la fréquence de la tension de travail, les installations se répartissent en:

- installations à courant continu;
- installations à courant alternatif qui peuvent être: à basse fréquence (0,1 à 50 Hz), de fréquence industrielle (50 Hz), à moyenne fréquence (0,1 à 10 kHz) et à haute fréquence (plus de 10 kHz).

f) Du point de vue du degré de protection on peut distinguer entre:

- les installations de type ouvert (qui assurent la protection seulement contre les touches accidentelles des parties en charge);
- les installations de type fermé (qui assurent la protection contre les touches, contre la pénétration des corps étrangers qui dépassent 1 mm, contre les gouttes d'eau et la détérioration mécanique);
- les installations de type capsulé (qui assurent aussi la protection contre la poussière).

Le consommateur d'énergie électrique est formé par la totalité des récepteurs d'un espace donné ou d'une société économique.

Les installations électriques au consommateur se composent par:

- récepteurs électriques;
- réseaux électriques et points d'alimentations (distributions);
- équipements de connexion, de protection, AMC (c'est-à-dire le reste d'équipement électrique, excepter les récepteurs).

Un schéma de distribution généralisé pour les installations électriques chez le consommateur est présenté dans la *figure 1.1*.

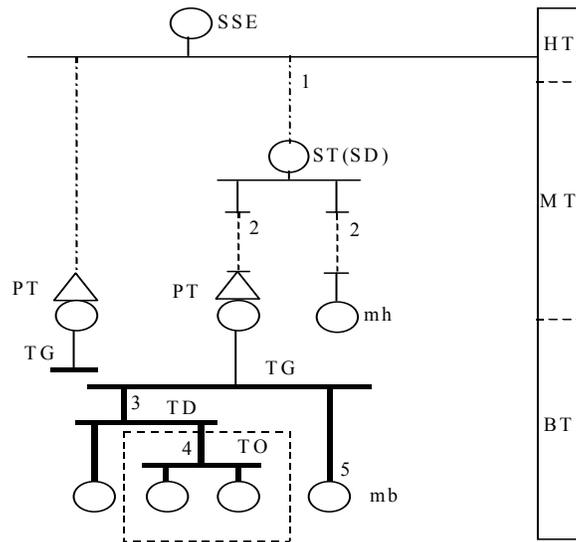
L'alimentation d'un consommateur, qui a des récepteurs à basse tension  $m_b$  et à haute tension  $m_h$ , avec énergie électrique, se réalise dans la haute tension, de la station (SSE) du système énergétique par l'intermédiaire du raccord de haute tension 1 (ligne électrique aérienne ou souterraine).

Celle-ci alimente une station de transformation (ST) (pour des tensions d'alimentation de plus de 35 KV) ou une station de distribution (SD) (l'alimentation des consommateurs seulement avec des récepteurs de basse tension est faite directement à partir des barres SSE du poste de transformation PT).

Aux barres de la station ST (ou SD) s'alimentent les différents postes de transformation et les récepteurs à haute tension  $m_h$  par les lignes 2 appelées distributrices (on les appelle encore «feeders» ou points d'alimentation). Les récepteurs à basse tension de grandes puissances  $m_b$  se raccordent souvent directement au tableau général TG. En général on utilise des points de distribution intermédiaires, représenté par tableaux de distribution TD alimentés par les lignes 3 appelées colonnes.

Une partie des récepteurs à basse tension peuvent être groupés sur les outillages à installation propre, alimentés par un tableau de

distribution TO de l'outillage. Les lignes 5 qui alimentent les récepteurs s'appellent circuits.



**Fig. 1.1.** Installations électriques chez le consommateur  
 (SSE - station du système énergétique; ST (SD) - station de transformation (distribution); PT - poste de transformation; TG - tableau général; TD - tableau de distribution; TO - tableau de force outillage;  $m_h$  - récepteur à haute tension;  $m_b$  - récepteur à basse tension; 1 - raccord de haute tension; 2 - distributeur; 3 - colonne; 4 - circuit de l'outillage; 5 - circuit récepteur)

Dans le cas d'un consommateur qui a des centrales propres, dans les installations électriques de ce consommateur, on distingue des parties dont les fonctions assurent tout le processus de production, de distribution, et d'utilisation de l'énergie électrique.

## 1.2. Notions générales concernant la qualité de l'énergie électrique

### 1.2.1. Considérations générales

La qualité de l'énergie électrique (énergie électrique qui est composante essentielle des systèmes électromagnétiques), intéresse à la fois le fournisseur et le consommateur.

Le fournisseur d'énergie électrique a l'obligation d'assurer le fonctionnement des réseaux électriques de transport et de distribution, qu'il gère, à certains paramètres de qualité. Par exemple le niveau de tension avec les écarts admis, la valeur de la fréquence avec les limites de variation admises en différents régimes de fonctionnement et la

continuité de l'alimentation des consommateurs avec de l'énergie électrique.

Le consommateur d'énergie, à son tour, est intéressé d'avoir une qualité adéquate de l'énergie électromagnétique mais, en même temps, il est impliqué dans le maintien de la qualité par le type de récepteur utilisé et par l'exploitation judicieuse de ceux-ci. Les principales influences négatives produites par les récepteurs des consommateurs concernent la production d'harmoniques de courant et de tension, tout comme le fonctionnement en régimes non symétriques, déséquilibrés.

La qualité de l'énergie électrique aux bornes des récepteurs est évaluée, principalement, conformément aux normatifs d'écarts admissibles de la valeur réelle des paramètres des valeurs nominales.

### **1.2.2. Paramètres de l'énergie électrique**

Parmi les plus importants paramètres de l'énergie électrique sont: la tension, la fréquence, la puissance et la continuité.

Les principales irrégularités qui peuvent affecter la qualité de la tension des réseaux électriques sont:

- les variations lentes de tension;
- les variations brusques de tension (dues, par exemple, aux commutations de charge);
- les fluctuations rapides de tension (qui peuvent provoquer l'effet de flicker);
- le déséquilibre des tensions triphasées;
- les harmoniques de la fondamentale de 50 Hz et les fréquences superposées;
- les vides de tension;
- les tensions d'impulsions ou les surtensions de courte durée;
- les signaux à haute fréquence;
- les composantes continues.

L'effet de *flicker* représente la variation visible du flux lumineux émis par les sources d'éclairage, phénomène qui produit, spécialement dans le domaine de fréquence 1-20 Hz une sensation de gêne physiologique de l'œil humain. Cela a comme conséquences, la fatigue, une baisse du rendement et une hausse des probabilités d'erreur dans le processus de production. Cet effet produit également la déformation de l'image des téléviseurs, des dérangements dans le fonctionnement de certaines installations électroniques.

Pour un bon fonctionnement des récepteurs, doivent être respectées les suivant conditions:

**a) La tension constante**, comme valeur et forme, constitue une première condition pour tous les types des récepteurs.

Il est recommandé que la tension aux bornes des récepteurs soit constante et égale avec la tension nominale ou que les variations possibles soient entre les limites précisées pour chaque récepteur. Les variations de tension, causées par le consommateur, sont dues, particulièrement, aux variations de charge et aux courts-circuits. Ces variations peuvent être lentes, causées par la modification dans le temps des récepteurs, ou rapides, causées par les courts-circuits ou par les modifications rapides de la charge (par exemple les fours à arc), y compris les modifications dues aux connexions et aux déconnexions des récepteurs.

Une chute de tension à caractère permanent, peut être la conséquence du sous dimensionnement de la section des conduits. Cette situation a des conséquences négatives comme: la destruction de l'isolation électrique, le non fonctionnement de l'équipement et la sur sollicitation thermique des récepteurs et des conduits.

Les tensions d'alimentation, plus grandes que les tensions nominales, déterminent le fonctionnement en surcharge des récepteurs de forces et la réduction de la durée de fonctionnement des récepteurs, en général, et en spécial de ceux d'éclairage. La baisse de la tension sous la valeur nominale attire la sollicitation thermique (pour les moteurs électriques) ou même le non fonctionnement des certains récepteurs ou installations (le détachement des électro-aimants, des moteurs asynchrones, etc.).

Le problème de la forme de la tension apparaît à la fois pour les récepteurs à courant continu et pour les récepteurs à courant alternatif.

La présence des harmoniques, sous la forme d'onde de la tension continue, affecte le fonctionnement des récepteurs à courant continu. Le contenu d'harmoniques est limité en fonction des effets de celles-ci, sur les récepteurs, par la précision du coefficient de distorsion admis.

La déviation de la forme sinusoïdale, de l'onde de tension, n'affecte pas certains récepteurs, comme les fours d'induction mais peuvent affecter d'autres, parmi lesquels les moteurs électriques. La présence des harmoniques de tension détermine le fonctionnement des récepteurs à courant alternatif en régime déformant.

Les causes de la distorsion, de l'onde sinusoïdale de tension, se trouvent principalement chez le consommateur. Une série d'équipements réactifs de circuit comme les bobines à noyau ferromagnétique, les récepteurs à arc électrique, les commutateurs, les condensateurs représentent des sources d'harmoniques de tension et de courant. Pour les installations électriques chez le consommateur il faut prendre des mesures pour la réduction des effets déformants et de l'influence sur le réseau d'alimentation.

**b) La fréquence constante, de la tension d'alimentation,** constitue un objectif majeur pour le bon fonctionnement des récepteurs, le maintien de la précision des appareils de mesure et pour les machines de travail qui fonctionnent à base des moteurs à courant alternatif. Les variations de la fréquence peuvent être causées par des variations importantes de la charge ou des avaries graves dans le système, l'origine de telles causes pouvant être les consommateurs mêmes.

La maintien constant de la fréquence industrielle (50 Hz) est un problème qui concerne le système énergétique et se trouve en rapport avec la puissance en réserve, des centrales électriques du système et de l'opérativité du *dispatching*. Il existe des situations où les possibilités de production de l'énergie électrique, dans les centrales électriques, sont limitées et on décide d'arrêter l'alimentation des certains consommateurs, pour maintenir la fréquence dans le système. L'écart maximal admis dans la fréquence est de  $\pm 0,5$  Hz.

**c) La symétrie des tensions** est la condition suivant laquelle, au système de tension triphasé, il faut faire correspondre trois tensions des phases égales et déphasés avec  $120^\circ$ .

Les causes de l'asymétrie sont d'un côté les installations de production et de transport, indépendantes du consommateur et de l'autre, les charges déséquilibrées des consommateurs.

Les conséquences de l'asymétrie des tensions sont étudiées par la méthode des composantes symétriques qui permet de déterminer les composantes directes, inverses et homopolaires. Ces dernières peuvent causer certains couples de freinage, respectivement l'échauffement et les vibrations dans le cas des moteurs à courant alternatif.

**d) La puissance nécessaire** est une condition globale des consommateurs et l'un des critères essentiels dans la projection.

Les paramètres de l'énergie électrique qui caractérisent la qualité sont:

- l'écart de la fréquence;
- l'écart de tension;
- l'amplitude de l'oscillation de la fréquence;
- les chutes et les dépassements de courte durée des valeurs effectives de la tension;
- les interruptions et les pointes sur la forme sinusoïdale de la tension de base;
- l'asymétrie du système triphasé de courants et de tensions;
- les distorsions harmoniques de la forme sinusoïdale des courbes de courants et de tensions.

### 1.2.3. Indicateurs de qualité de l'énergie électrique, méthodes de calcul

Les indicateurs de qualité de l'énergie électrique sont de deux types: des indicateurs primaires, qui dépendent avant tout du fournisseur d'énergie électrique et des indicateurs secondaires, déterminés surtout par le fonctionnement des consommateurs perturbateurs.

Les indicateurs de qualité de l'énergie électrique IQEE peuvent se classifier également en:

- indicateurs de base (fondamentaux);
- indicateurs auxiliaires (complémentaires).

La catégorie des indicateurs primaires contient:

- l'écart de fréquence;
- l'écart de tension;
- l'amplitude de variation de la tension;
- les surtensions temporaires et transitoires;
- les vides de tension.

Dans la catégorie des indicateurs secondaires on rencontre:

- l'effet flicker;
- les fluctuations rapides de tension provoquées par des événements survenus dans les installations des consommateurs;
- les asymétries;
- les régimes périodiques asinusoidaux déformants.

Dans ce qui suit nous allons présenter les IQEE d'après la classification en indicateurs de base et auxiliaires.

#### 1.2.3.1. Les indicateurs fondamentaux de qualité de l'énergie électrique

1. **L'écart de tension ( $\delta U$ )** représente la différence entre les valeurs réelles et nominales de la tension.

$$\delta U = U - U_{nom}, [V, kV]$$

ou

$$\delta U = \frac{U - U_{nom}}{U_{nom}} \cdot 100, [\%] \quad (1.1.)$$

où:

U - représente la valeur effective de la tension en V ou kV;

$U_{nom}$  - représente la valeur nominale de la tension en V ou kV.

Dans les réseaux électriques monophasés, la valeur effective de la tension U est définie comme la valeur effective de la tension fondamentale  $U_{(1)}$ , sans tenir compte des composantes harmoniques supérieures. Dans les réseaux électriques triphasés, cette valeur est

définie comme la valeur effective de la tension fondamentale positive (directe)  $U_{(1)}^+$  calculée avec la formule:

$$U_{(1)}^+ = \sqrt{\frac{1}{12} \left[ \left( \sqrt{3}U_{SR(1)} + \sqrt{4U_{TS(1)}^2 - \left( \frac{U_{TS(1)}^2 - U_{RT(1)}^2}{U_{SR(1)}} + U_{SR(1)} \right)^2} \right)^2 + \left( \frac{U_{TS(1)}^2 - U_{RT(1)}^2}{U_{SR(1)}} \right)^2 \right]} \quad (1.2)$$

où  $U_{SR(1)}$ ,  $U_{TS(1)}$ ,  $U_{RT(1)}$  sont des valeurs effectives fondamentales de la tension de ligne (V, kV) d'un réseau triphasé avec les phases R, S, T.

Pour le calcul de cet indicateur on admet, pour définir les tensions de séquence positive  $U_{(1)}^+$ , la formule approximative:

$$U_{(1)}^+ = \frac{1}{3} [U_{SR(1)} + U_{RT(1)} + U_{TS(1)}] \quad (1.3.)$$

qui n'introduit pas une erreur relative de plus de 0,1% pour les coefficients d'asymétrie négative (inverse) qui ne dépassent pas 6% par rapport à la formule (2). À la place des valeurs effectives de la tension fondamentale on peut utiliser les valeurs effectives totales.

**2. L'écart de fréquence ( $\Delta f$ )** représente la différence entre la valeur réelle et la valeur nominale de la fréquence exprimée en [Hz] ou [%] et qu'on calcule avec formule:

$$\begin{aligned} \Delta f &= f_{nom} - f, [Hz] \\ \Delta f &= \frac{f_{nom} - f}{f_{nom}} \cdot 100, [\%] \end{aligned} \quad (1.4.)$$

où:

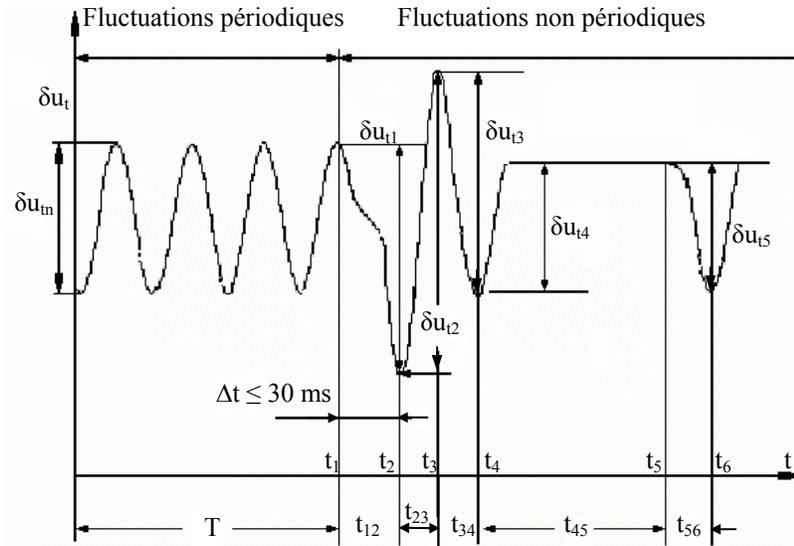
$f$  - représente la fréquence du réseau à un moment donné, en Hz;

$f_{nom}$  - représente la fréquence nominale standardisée de 50 Hz.

**3. L'amplitude de variation de la tension ( $\delta U_t$ )** représente la différence entre les amplitudes ou les valeurs effectives de la tension au début et à la fin d'une variation singulière de la tension (voir *fig. 1.2.*).

$$\begin{aligned} \delta U_t &= U_i - U_{i+1}, [V, kV] \\ \delta U_t &= \frac{|U_i - U_{i+1}|}{\sqrt{2}U_{nom}} \cdot 100, [\%] \end{aligned} \quad (1.5.)$$

où  $U_i$ ,  $U_{i+1}$  sont les valeurs consécutives des extrêmes de la tension.



**Fig. 1.2.** Les oscillations de tension

$\delta u_m$  - l'amplitude des oscillations périodiques,

$\delta u_{t1} \div \delta u_{t5}$  - les amplitudes des oscillations non périodiques

#### 4. La dose d'oscillation de tension (dose flicker) (fk).

Les oscillations de la tension (flicker) sont les fluctuations de tension périodiques ou aléatoires, causées, principalement par le fonctionnement avec des chocs de puissance réactive des certains récepteurs qui peuvent provoquer dans les réseaux électriques d'alimentation des effets indésirables.

La dose d'oscillation de la tension (la dose flicker) représente une caractéristique intégrale qui détermine chez l'homme, après une période de temps, un inconfort dû aux oscillations lumineuses.

La dose flicker est calculée avec la formule:

$$f_k = \frac{1}{\theta} \int_{t=\theta}^t \int_0^{25} g_f^2 \cdot S(f, t) \cdot df \cdot dt, [\%]^2 \quad (1.6.)$$

où:

$g_f$  - représente le coefficient de réduction des amplitudes réelles des variations de tension à des ondes équivalentes (on le retrouve dans des tableaux);

$\theta$  - est l'intervalle de temps de médiation, de 10 minutes et,

$S(f,t)$  - est le spectre de fréquence du processus de variation de la tension en moment «t».

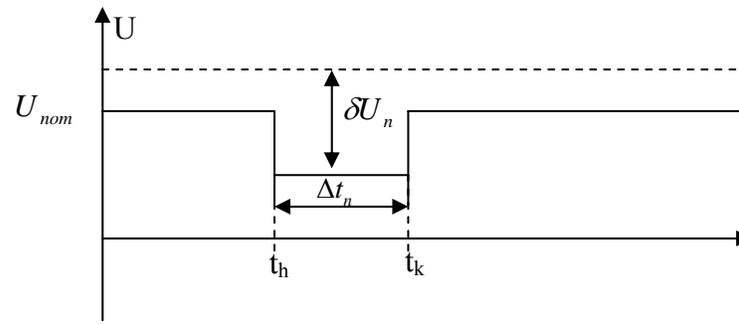
Dans le cas des variations périodiques ou presque périodiques de la tension, on peut calculer le coefficient  $f_k$  à l'aide de la relation:

$$f_K = \frac{1}{\theta} \int_{t=\theta}^t \sum_f g_f^2 \cdot \delta U_f \cdot dt, [\%]^2 \quad (1.7.)$$

où  $\delta U_f$  représente la valeur effective des composantes du développement en série Fourier de la variation de tension avec l'amplitude  $\delta U_t$ .

**5. Le vide de tension. La durée du vide de tension ( $\Delta t_v$ ).** Par vide de tension on comprend une baisse brusque, de courte durée, de l'amplitude ou de la valeur effective  $U$  de la tension (voir *fig.1.3*).

Les vides de tension peuvent apparaître en égale mesure dans les réseaux des fournisseurs et dans celles des utilisateurs d'énergie électrique. Leur apparition est inévitable et peut être causée par l'enclenchement et le déclenchement des grandes charges.



*Fig. 1.3. Le vide de tension*

La durée du vide de tension  $\Delta t_v$  peut être calculée avec la formule:

$$\Delta t_v = t_f - t_i \quad (1.8.)$$

où  $t_i$  et  $t_f$  sont les moments initial et final du vide de tension, calculés en secondes.

**6. La tension d'impulsion ( $\delta U_{imp}$ )** représente la valeur instantanée maximale de l'impulsion de tension superposée sur la forme d'onde normale  $U_{imp}$ .

Par *impulsion* de tension on comprend une variation brusque de tension, dans un intervalle de temps qui peut varier de quelques microsecondes à quelques dizaines de millisecondes.

L'amplitude de l'impulsion représente la différence entre la tension d'impulsion et la valeur instantanée de la tension de fréquence fondamentale qui correspond au moment initial de l'impulsion.

La tension d'impulsion en unités relatives ( $\delta U_{imp}^*$ ) se calcule avec la relation:

$$\delta U_{imp}^* = \frac{U_{imp}}{\sqrt{2}U_{nom}} \quad (1.9.)$$

où  $U_{imp}$  représente la valeur de la tension d'impulsion (V ou kV).

**7. Le coefficient asinusoidal de l'onde de tension** (coefficient de distorsion) ( $d_u$ ). *La distorsion* représente une déformation indésirable d'une forme d'onde (de tension ou de courant).

*Le coefficient de distorsion THD* (le facteur total de distorsion harmonique) se calcule avec la formule:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n U_k^2}}{U_{nom}} \cdot 100, [\%] \quad (1.10.)$$

où:

-  $U_k$  est la valeur effective de l'harmonique «k» de tension, en V ou kV;

-  $U_{nom}$  représente la valeur nominale effective de la tension de ligne en V ou kV;

-  $n$  représente le rang de la dernière harmonique considérée.

Pour définir cet indicateur on admet qu'on néglige les harmoniques de rang  $k > 40$  ou celles dont la valeur se situe au dessous de 0,15 %. Le calcul avec la formule (1.11), où  $U_{(1)}$  représente la valeur effective de l'harmonique fondamentale de tension en V ou kV.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n U_k^2}}{U_{(1)}} \cdot 100, [\%] \quad (1.11.)$$

**Observation:** L'erreur relative qui résulte du calcul „THD” avec les formules (1.11) et (1.10) reflète l'écart de la tension  $U_{(1)}$  par rapport à la tension nominale ( $U_{nom}$ ).

**8. Le niveau de l'harmonique de tension** ( $\gamma_u$ ) peut être déterminé à l'aide de la relation:

$$\gamma_{u(k)} = \frac{U_k}{U_{nom}} \cdot 100, [\%] \quad (1.12.)$$

où  $U_k$  est la valeur effective de l'harmonique «k» de tension.

Cet indicateur peut être calculé également à l'aide de la relation:

$$\gamma_{u(k)} = \frac{U_k}{U_{(1)}} \cdot 100, [\%] \quad (1.13.)$$

**9. Le degré d'asymétrie ( $K_n$ )** est le rapport entre la valeur effective de la composante de séquence négative (inverse) ou zéro (homopolaire) et la composante de séquence positive (directe).

**10. Le coefficient d'asymétrie négative (inverse) de tension ( $K_{nu}$ )** est le rapport entre la tension de succession négative (inverse) ( $\underline{U}^-$ ) à la fréquence de base et la tension de succession positive (directe) ( $\underline{U}^+$ ).

Ce coefficient peut être calculé avec la formule:

$$\underline{K}_{nu}^- = \frac{\underline{U}_{(1)}^-}{\underline{U}_{nom}} \cdot 100, [\%], \quad (1.14.)$$

où:

$\underline{U}_{(1)}^-$  - est la valeur effective dans le complexe de la composante de séquence négative (inverse) de fréquence fondamentale dans un système triphasé, en V ou kV.

$\underline{U}_{nom}$  - représente la valeur nominale effective dans le complexe, de la tension de ligne en V ou kV;

$\underline{U}_{(1)}^-$  - peut être calculé avec la formule approximative:

$$\underline{U}_{(1)}^- = 0,62 \left| U_{\max(1)} - U_{\min(1)} \right| \quad (1.15.)$$

où  $U_{\max(1)}$  et  $U_{\min(1)}$  sont les valeurs effectives maximales et minimales des trois tensions fondamentales de ligne.

Pour le calcul de cet indicateur on peut utiliser également la formule:

$$\underline{K}_{nu}^- = \frac{\underline{U}_{(1)}^-}{\underline{U}_{(1)}^+} \cdot 100, [\%] \quad (1.16.)$$

où  $\underline{U}_{(1)}^+$  est la valeur effective de la composante de séquence positive (directe) de la tension de fréquence fondamentale en V ou kV.

**11. Le coefficient d'asymétrie zéro (homopolaire) de tension  $\underline{K}_{nu}^0$**  est le rapport entre la tension de succession zéro

(homopolaire) ( $\underline{U}^0$ ), à la fréquence de base et la tension positive (directe) ( $\underline{U}^+$ ).

Le coefficient d'asymétrie zéro d'un système triphasé à 4 conducteurs peut être calculé avec la relation:

$$\underline{K}_{nU}^0 = \frac{\underline{U}_{(1)}^0}{\underline{U}_{nomf}} \cdot 100, [\%] \quad (1.17.)$$

où:  $\underline{U}_{(1)}^0$  est la valeur effective (dans le complexe) en V ou kV.

$\underline{U}_{nomf}$  - la tension nominale de phase, dans le complexe en V ou kV;

Pour le calcul  $U_{(1)}$  on peut utiliser la formule approximative:

$$U_{(1)}^{\circ} = 0,62 \left| U_{\max f(1)} - U_{\min f(1)} \right| \quad (1.18.)$$

où  $U_{\max f(1)}, U_{\min f(1)}$  sont les valeurs maximales et minimales des tensions de phase de la fondamentale.

Si les tensions de ligne ont aussi la composante de séquence négative, les valeurs  $U_{\max f(1)}, U_{\min f(1)}$  sont perçues comme la plus grande et la plus petite valeur des tensions de phase rapportées (dont on a exclu la composante négative ou inverse), qui sont calculées avec les formules:

$$\begin{aligned} U_R^* &= U_R + (U_{TS} - U^+) / \sqrt{3} \\ U_S^* &= U_S + (U_{RT} - U^+) / \sqrt{3} \\ U_T^* &= U_T + (U_{SR} - U^+) / \sqrt{3} \end{aligned} \quad (1.19.)$$

**Observation:** on peut utiliser les valeurs effectives totales des tensions de ligne et de phase si le coefficient d'asymétrie zéro ne dépasse pas 5%.

Ce coefficient peut être calculé aussi à l'aide de la relation:

$$\underline{K}_{nU}^{\circ} = \frac{\sqrt{3} \underline{U}_{(1)}^{\circ}}{\underline{U}_{(1)}^+} \cdot 100, [\%] \quad (1.20.)$$

Le coefficient total d'asymétrie de tension ( $K_{nsU}$ ) est donné par la relation:

$$\underline{K}_{nsU} = \underline{K}_{nu}^- + \underline{K}_{nu}^0 \quad (1.21.)$$

### 1.2.3.2. Indicateurs auxiliaires de qualité de l'énergie électrique (complémentaires)

1. Le coefficient pour les fluctuations de tension ( $K_{\text{mod}}$ ) est calculé par la relation:

$$K_{\text{mod}} = \frac{U_{\text{max } a} - U_{\text{min } a}}{2\sqrt{2}U_{\text{nom}}} \quad (1.22.)$$

où  $U_{\text{max } a}$ ,  $U_{\text{min } a}$  sont l'amplitude maximale et respectivement minimale de la tension modulée (V ou kV).

Dans le cas d'une modulation périodique de la tension  $\delta U_t$  (amplitude de la variation de tension) on établit la relation:

$$\delta U_t = 2K_{\text{mod}} \quad (1.23.)$$

2. Le coefficient d'asymétrie de la tension de ligne ( $K_{\text{dez}}$ )

$$K_{\text{dez}} = \frac{U_{\text{max}} - U_{\text{min}}}{U_{\text{nom}}} 100, [\%] \quad (1.24.)$$

où  $U_{\text{max}}$ ,  $U_{\text{min}}$  sont les valeurs effectives maximale et minimale des trois tensions de ligne.

3. Le coefficient d'asymétrie de la tension de phase ( $K_{\text{def}}$ )

$$K_{\text{def}} = \frac{U_{\text{max } f} - U_{\text{min } f}}{U_{\text{nom } f}} 100, [\%] \quad (1.25.)$$

où:  $U_{\text{max } f}$ ,  $U_{\text{min } f}$  - sont les valeurs maximale et minimale de la tension de phase;  $U_{\text{nom } f}$  - est la tension nominale de phase.

Si  $k_{\text{nu}} \leq 5\%$ , alors  $k_{\text{def}}$  peut être calculé à l'aide de la formule approximative:  $k_{\text{nu}} = 0,62 \cdot k_{\text{def}}$ . L'erreur relative ne dépasse pas, dans ce cas  $\pm 8\%$ .

### 1.2.4. Les paramètres auxiliaires concernant l'énergie électrique

1. La fréquence de variation de la tension (F) est donnée par la formule suivante:

$$F = \frac{m}{T}, \quad [1/s; 1/\text{min}; 1/h] \quad (1.26.)$$

où  $m$  est le nombre des variations, de la tension, en temps et  $T$  est le temps de mesure [1s, 1min, 1h].

2. L'intervalle de temps entre deux variations consécutives ( $\Delta t_{i,i+1}$ )

$$\Delta t_{i,i+1} = t_{i+1} - t_i \quad (1.27.)$$

Si l'intervalle de temps  $\Delta t_{i,i+1}$  ne dépasse pas 30 ms, les deux variations sont considérées comme une seule.

3. La profondeur du vide de tension

$$\delta U_g = \frac{U_{nom} - U_{min}}{U_{nom}} 100, [\%] \quad (1.28.)$$

4. L'intensité du vide de tension ( $m_x$ )

L'intensité du vide de tension est calculée à l'aide de la relation 1.29.

$$m_x = \frac{m(\delta U_g, \Delta t_g)}{M} 100, [\%] \quad (1.29.)$$

où:  $m(\Delta U_g, \Delta t_g)$  est le nombre des trous  $\Delta U_g$  à durée  $\delta t_g$  observée dans l'intervalle  $T$  et  $M$  est le nombre total des trous de tension dans le même intervalle.

5. La durée de l'impulsion de tension ( $t_{imp}$ ) est l'intervalle de temps entre le moment de l'apparition de l'impulsion de tension et respectivement, celui de l'établissement de la valeur instantanée de la tension jusqu'au niveau antérieur (*fig.1.4.*).

On propose également comme indicateur de qualité et la durée de l'impulsion de tension à 50% de l'amplitude maximale:

$$t_{imp} = t_f - t_i, [\mu s; ms] \quad (1.30.)$$

où  $t_i$  et  $t_f$  sont le temps initial et le temps final de l'impulsion.

En ce qui concerne la durée de l'impulsion de tension du niveau 0,5 ( $t_{imp0,5}$ ), celle-ci se trouve à l'intersection de la courbe de l'impulsion de tension, avec la coordonnée à la moitié de l'amplitude de l'impulsion.

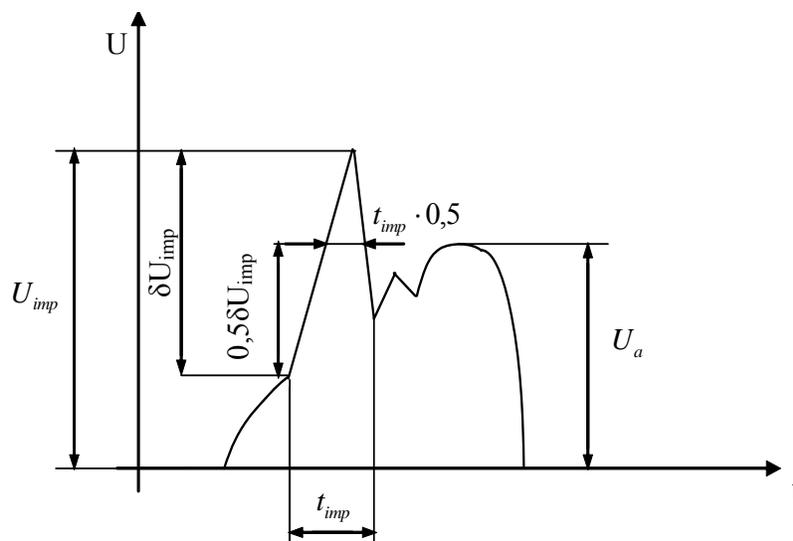


Fig. 1.4. L'impulsion de tension

### 1.2.5. La qualité de l'énergie électrique – des réglementations internationales

Au niveau mondial, particulièrement en Europe de l'ouest, il y a plusieurs organisations impliquées dans le problème de l'étude et de l'élaboration des réglementations et des recommandations concernant la qualité de l'énergie. Les plus importantes organisations qui ont des préoccupations dans le domaine de la qualité de l'énergie électrique sont:

CIGRE - La Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques - Groupe de travail CE36,

CIREN - La Conférence Internationale des Réseaux Electriques de Distribution,

UNIPED - L'Union Internationale des Producteurs et des Distributeurs d'Énergie Électrique - Groupe DISNORM,

UIE - L'Union Internationale d'Electrothermie,

CEI - La Commission Electrotechnique Internationale - Le Comité d'Etudes 77,

CENELEC - Le Comité Européen de Normalisation Electrotechnique - CLC.

En Roumanie il n'y a pas de norme concernant la qualité de l'énergie électrique en général, mais seulement des normes séparées concernant quelques paramètres de qualité de l'énergie électrique comme:

\*PE 143/94 - Le Normatif concernant la limitation du régime asymétrique et déformant dans les réseaux électriques, entré en vigueur en 1994.

\*PE 124/95 - Le Normatif concernant l'alimentation avec de l'énergie électrique des consommateurs industriels et similaires, revu en 1995.

\*PE 026/92 - Le Normatif pour la projection du système énergétique national, revu en 1993.

\*PE 142/80 - Le Normatif concernant l'annulation de l'effet flicker dans les réseaux de distribution, entré en vigueur en 1980.

RFUEE - Le Règlement de livraison et d'utilisation de l'énergie électrique RENEL - 1993.

Ayant en vue le fait que le Système Electroénergétique National de la Roumanie va s'interconnecter avec le Système UCPTTE de l'Europe de l'ouest, on a considéré opportun que la proposition concernant l'élaboration d'un normatif de qualité de l'énergie électrique prenne comme point de départ les recommandations CENELEC et le Standard CENELEC, indicatif EN 50160 (novembre 1994), en procédant aux adaptations imposées par les conditions de notre pays.

La norme européenne indicatif EN50160 est apparue en novembre 1994 et se réfère à la qualité du produit "énergie électrique". Cette norme définit des paramètres et des tolérances associée, relatifs à la qualité de la tension d'alimentation, indiquant les types de perturbations en fonction de la forme d'onde, du niveau de tension, de la fréquence et du déséquilibre du système alternatif triphasé et monophasé du point de livraison jusqu'au consommateur.

Les indicateurs qui apparaissent dans les normes roumaines concernant la qualité de l'énergie électrique sont présentés ci-dessous:

- la fréquence 50 Hz  $\pm$  0,5% pendant 99% du temps - PE 026/92;
- 50 Hz  $\pm$  0,1% pendant plus de 90% du temps;
- l'amplitude de la tension - 230/400 V, +10%, -6% et dans les circuits de force 400/690 V, + 10%, -6% STAS 230/89;
- la dose de flicker a l'expression

$$f = \int_0^T a_{10}^2 dt, \text{ unde } a_{10}^2 = \sum g_i^2 a_i^2 \quad (1.31)$$

où:

$a_{10}^2$  - est la fluctuation sinusoïdale ayant la fréquence de 10 Hz;

$a_i$  - l'amplitude de la fluctuation de fréquence  $i$ ;

$g_i$  - les coefficients de fréquence, normatif PE 142/80.

### 1.3. Classification des bâtiments et des pièces dans lesquelles on place les installations électriques

Les bâtiments et les pièces dans lesquelles on place les installations électriques se classifient d'après les critères suivants:

- *Du point de vue du danger d'incendie:*
  - *la catégorie A*, renferme les pièces où on usine, on manipule ou on met en stock: des substances qui, sous l'action de l'eau ou de l'oxygène peuvent s'allumer ou exploser; des liquides inflammables jusqu'à 28° C, des gaz et des vapeurs avec une limite inférieure d'explosion jusqu'à 10% de concentration dans l'air;
  - *la catégorie B*, renferme les pièces où il y a: des liquides avec une température d'inflammabilité des vapeurs entre +28 ÷ 120° C; des gaz ou des vapeurs ayant la limite inférieure d'explosion de plus de 10% de concentration dans l'air; des matériaux en suspension, des fibres, de la poussière ou des poudres combustibles qui peuvent former avec l'air des mélanges combustibles;
  - *la catégorie C*, renferme des pièces avec des substances et des matériaux combustibles solides, liquides, inflammables à plus de 120° C;
  - *la catégorie D*, renferme des pièces dans lesquelles se trouvent des substances et des matériaux non combustibles échauffés, fondus ou incandescents qui dégagent de la chaleur radiante, des flammes ou des étincelles; des pièces où on brûle des combustibles solides, liquides ou gazeux; des pièces où il y a des appareillages électriques qui contiennent jusqu'à 60 Kg huile/unité d'outillage;
  - *la catégorie E*, renferme des pièces avec des substances ou des matériaux incombustibles, à l'état froid ou des matériaux combustibles avec un degré élevé d'humidité qui ne risquent pas de s'allumer.
- *Du point de vue du risque d'explosion les pièces des catégories A, B, C se divisent en plusieurs catégories:*
  - *la catégorie EI* - contient un mélange explosif, des gaz ou des vapeurs, présents en permanence, périodiquement ou avec intermittence, dans des conditions normales de fonctionnement;
  - *la catégorie EIa* - contient un mélange explosif qui apparaît accidentellement ou en cas d'avarie;
  - *la catégorie E Ib* - renferme des moyens similaires avec EIa, mais avec la limite inférieure d'explosion élevée (plus de 15%) et une odeur forte pour les concentrations maximum admises par les normes sanitaires en vigueur. Les gaz et les liquides inflammables sont en concentrations réduites non explosibles en général, les pièces prévues avec des niches, de ventilateurs ou avec des hottes à absorption;
  - *la catégorie E II* - contient des pièces avec des particules poussière combustible en suspensions, présentes en permanence, périodiquement ou avec intermittence et qui, dans des conditions normales, ne forme pas des mélanges explosifs ou incendiaires;
  - *la catégorie E IIIa* - contient de la poussière combustible qui se dépose sur l'équipement électrique, qui empêche le refroidissement naturel et présente le risque de s'allumer;

- *la catégorie EIII* - contient des fibres ou des effilochures qui s'allument facilement en suspension, mais en quantités qui ne peuvent pas former de mélanges explosifs;

- *la catégorie EIIIa* - contient les espaces dans lesquels on stocke ou on manipule des fibres ou des effilochures facilement inflammables.

- *Du point de vue des caractéristiques du milieu:*

- *la catégorie U<sub>0</sub>* - comprend des pièces sèches avec l'humidité de l'air de moins de 75%;

- *la catégorie U<sub>1</sub>* - comprend des pièces humides avec intermittence où l'humidité de l'air ne dépasse pas 75% pour une grande période du temps;

- *la catégorie U<sub>2</sub>* - comprend des pièces humides avec l'humidité de l'air comprise entre 75 et 95%, les murs ne sont pas imbibés d'eau, bien qu'il y ait du brouillard et des vapeurs sous forme de gouttes;

- *la catégorie U<sub>3</sub>* - comprend des pièces humides, avec l'humidité de l'air de plus de 95%, il y a du brouillard et des vapeurs d'eau, des grandes gouttes d'eau sur les murs qui sont imbibés d'eau;

- *la catégorie PI* - comprend des pièces ou des parties de pièces avec dégagement ou pénétration de poussière incombustible qui se dépose sur les installations électriques périlant leur bon fonctionnement;

- *la catégorie PC* - comprend des pièces qui contiennent de la poussière, des effilochures ou des fibres qui normalement ne forment pas des mélanges explosifs ou incendiaires;

- *la catégorie K* - comprend des pièces avec une ambiance corrosive produite par des vapeurs, des gaz, des liquides, de la poussière etc., ayant une action destructive sur les matériaux des installations électriques;

- *la catégorie T* - comprend des pièces ou des parties de pièces avec une température permanente de +35° C ou avec des dépassements fréquents de +40°C;

- *la catégorie CE* - comprend des pièces avec des surfaces bonnes conductrices d'électricité;

- *la catégorie EE* - comprend: des pièces spéciales pour des équipements électriques, accessibles seulement pour le personnel qualifié;

- des pièces ou des espaces à risque de détérioration mécanique; des espaces exposés aux précipitations (pluie, gel, neige, vent, soleil, etc.);

- la zone du littoral, un territoire de presque 3 Km de largeur, le long du bord de la mer.

- *Du point de vue du danger d'électrocution:*
  - *la catégorie CEa* - comprend des pièces ou des espaces de travail très dangereux, où : l'humidité de l'air est de plus de 97%, la température dépasse 35° C, le milieu corrosif dans lequel il y a des tables métalliques en contact avec la terre qui occupent jusqu'à 60% de la zone de manipulation;
  - *la catégorie CEb* - comprend des pièces ou des espaces de travail dangereux dans lesquels: le plancher est humide et bon conducteur d'électricité (comme le béton, la terre etc.); les tables métalliques en contact avec la terre occupent jusqu'à 60% de la zone de manipulation; l'humidité se situe entre 75 ÷ 95% et la température entre +25 ÷ 30°C; des dégagements de poussière bonne conductrice d'électricité (de la limaille de fer, des oxydes métalliques, etc.), des gaz et des liquides qui baissent la résistance électrique du corps humain;
  - *la catégorie CEC* - comprend des espaces avec l'humidité de moins de 75%, la température ne dépasse pas 25°C, le plancher est isolateur du point de vue électrique (bois, P.V.C., linoléum, bakélite, etc.).
- *Du point de vue du nombre de personnes:*
  - *des pièces agglomérées* qui comprennent plus de 50 personnes pour un maximum de 4 m<sup>2</sup> de plancher;
  - *des pièces non agglomérées* qui n'entrent pas dans la catégorie des pièces agglomérées.

## **1.4. Des matériaux et des appareils utilisés pour les installations à basse tension**

Les conduits et l'équipement électrique utilisés dans les installations électriques à basse tension se caractérisent par une grande diversité et se distinguent du point de vue fonctionnel, de leur construction et par les performances atteintes.

Le choix des conduits et de l'équipement électrique correspondant est déterminé - en dehors des grandeurs et des paramètres électriques et mécaniques propres - par les caractéristiques du milieu dans lequel les installations respectives sont placées.

Dans le choix des conduits et de l'équipement électrique on tient compte encore du caractère spécifique de l'installation respective (installation pour éclairage, installation de force, AMC, installation spéciale) tout comme des implications économiques de celle-ci.

### **1.4.1. Conduits et câbles électriques**

L'alimentation et la distribution de l'énergie électrique au consommateur se font par des conduits et des câbles dont les conducteurs

sont en cuivre, aluminium, acier, de section transversale, circulaire ou profilée, réalisée d'une ou de plusieurs fibres.

Etant un matériel déficitaire, le cuivre est recommandé seulement pour:

- des pièces et des espaces extérieurs avec des milieux corrosifs où l'aluminium et l'acier n'ont pas une stabilité chimique correspondante;
- des récepteurs de la catégorie 0 ou I si la section des conducteurs d'aluminium résultée est de moins de  $10 \text{ mm}^2$ ;
- des récepteurs placés dans des milieux qui présentent un danger d'explosion;
- des installations mobiles ou soumises aux vibrations et aux chocs permanents;
- des installations de protection par mise à terre et par connexion à nul;
- des bâtiments avec des pièces agglomérées, des hôpitaux, des cliniques, des édifices d'importance nationale et aussi des bâtiments de la zone du littoral;
- des récepteurs d'une importance vitale (ascenseurs, pompes d'incendie, installation d'éclairage de réserve);
- des circuits de commande, AMC, des circuits de protection et de signalisation des installations importantes.

Du point de vue de leur construction, les conducteurs électriques sont soit unifilaires, soit multifilaires, les derniers présentant l'avantage de flexibilité et de diminution de l'effet pelliculaire en courant alternatif. Les sections normalisées sont: 0,75; 1; 1,5; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240; 300; 400; 500; 600  $\text{mm}^2$ .

Les conduits utilisés dans les installations électriques se classifient en: conduits non isolés, et conduits isolés pour les installations fixes et mobiles, câbles d'énergie, câbles pour des circuits secondaires, câbles de télétransmission, conduits à destination spéciale et conduits pour les véhicules.

#### 1.4.1.1. Caractéristiques des conducteurs

L'ensemble comprenant l'âme, son enveloppe et ses écrans éventuels est un *conducteur isolé*.

Le terme *conducteur isolé* désigne aussi bien le conducteur constitutif d'un câble, que le conducteur utilisé séparément des autres.



Fig. 1.5. Conducteur isolé

### Câble

Le câble représente ensemble constitué par: un ou plusieurs conducteurs individuels, leur revêtement individuel, la protection d'assemblage et, éventuel, les revêtements de protection.



*Fig.1.6. Câbles*

- **Âme**

L'âme doit satisfaire aux conditions suivantes: *bonne conductibilité* pour réduire les pertes lors du transport de l'énergie; *résistance mécanique*; *bonne souplesse*; *bonne tenue à la corrosion*; *bonne fiabilité* des raccordements par une bonne résistance aux effets physico-chimiques des contacts.

Les âmes peuvent être: en cuivre, nu ou revêtu d'une couche métallique; en aluminium; en alliage d'étain ou de plomb ou en aluminium plaqué de métal revêtu ou non d'une couche métallique.

La couche métallique de revêtement peut être dans le cas de cuivre: de l'étain, un alliage d'étain ou de plomb ou dans le cas de l'aluminium: du cuivre, du nickel ou de l'étain.

- **Équivalence aluminium-cuivre**

L'aluminium est autorisé à partir d'une section de 2.5 mm<sup>2</sup>. Pour une même résistance électrique et pour une même longueur on a:

$$\frac{\text{Section aluminium}}{\text{Section cuivre}} = \frac{\rho_{Al}}{\rho_{Cu}} = \frac{29.41}{18.51} = 1.59,$$

ce qui se traduit par le fait que pour remplacement d'un conducteur en cuivre par un conducteur en aluminium on choisit une section d'âme en aluminium immédiatement supérieure à celle d'un conducteur en cuivre.

L'échelonnement normalisé des sections des conducteurs est le suivant:

Section Cuivre (mm <sup>2</sup> )	1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185
Section Aluminium (mm <sup>2</sup> )	2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240

- **Enveloppe isolante**

Cette enveloppe isolante doit assurer une bonne isolation de l'âme conductrice et présenter les caractéristiques:

- générales, de tout bon isolant: résistivité élevée; très bonne rigidité électrique; faibles pertes diélectriques.
- particulières, à l'emploi des conducteurs et des câbles: bonne tenue au vieillissement; bonne résistance au froid, à la chaleur et au feu; insensibilité aux vibrations et aux chocs; bon comportement l'attaques des agents chimiques.

Les principaux matériaux synthétiques utilisés pour l'enveloppe isolante sont les *matières thermoplastiques* comme polychlorure de vinyle (PVC), polyéthylène (PE) et les *élastomères et polymères réticulables* comme polyéthylène réticulé (PR), copolymères d'éthylène-propylène, caoutchouc de silicone.

#### **1.4.1.2. Exemple de repérage des conducteurs isolés (selon norme NFC 15 100)**

Les dispositions énoncées s'appliquent aux canalisations constituées de conducteurs isolés et aux câbles multiconducteurs, à âmes circulaires ou sectoriales (voire *fig. 1.7.*):

##### **A.**

Lorsque le circuit comporte un conducteur de protection, ce conducteur doit être repéré par la double coloration vert et jaune.

Lorsque le circuit ne comporte pas de conducteur de protection, les câbles multiconducteurs ne doivent pas avoir un conducteur repéré par la double coloration vert et jaune.

Toutefois, dans le cas où on ne dispose que de câbles comportant un conducteur repéré par la double coloration vert et jaune pour la section choisie, il est possible d'employer un tel câble sous réserve de ne pas utiliser le conducteur repéré par la double coloration vert et jaune: dans le cas de conducteurs isolés, il ne doit pas être fait usage de conducteur repéré par la double coloration vert et jaune.

##### **B.**

Lorsque le circuit comporte un conducteur neutre, ce conducteur doit être repéré par la couleur bleu clair (ou pour des câbles de plus de 5 conducteurs, par le chiffre 1).

Lorsque le circuit ne comporte pas de conducteur neutre:

- dans le cas de câbles multiconducteurs, le conducteur repéré par la couleur bleu clair peut être utilisé pour un autre usage, sauf comme conducteur de protection.
- dans le cas de conducteurs isolés, il ne doit pas être fait usage de conducteur repéré par la couleur bleu clair.

Circuits	Conducteurs	Câbles multiconducteurs
----------	-------------	-------------------------

	<b>isolés</b>		
Phase - Neutre	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Phase*                 </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: cyan; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Neutre                 </div>		
Phase - Phase	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Phase*                 </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Phase*                 </div>		
Phase - Neutre + Protection	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Phase*                 </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: cyan; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Neutre                 </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: yellowgreen; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Protection                 </div>		
Phase - Phase - Protection	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Phase*                 </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Phase*                 </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: yellowgreen; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Protection                 </div>		
3 Phases	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Phase*                 </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Phase*                 </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Phase*                 </div>		
3 Phases + Neutre	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Phase*                 </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Phase*                 </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Phase*                 </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: cyan; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Neutre                 </div>		
3 Phases + Protection	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Phase*                 </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Phase*                 </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Phase*                 </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: yellowgreen; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Protection                 </div>		
3 Phases + Neutre + Protection	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Phase*                 </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Phase*                 </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Phase*                 </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: cyan; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Neutre                 </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: yellowgreen; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Protection                 </div>		
	*: couleur quelconque sauf bleu clair et double coloration vert-et-jaune.	*: couleur quelconque sauf bleu clair et double coloration vert-et-jaune. **: couleur quelconque sauf double coloration vert-et-jaune. X: ne pas utiliser.	

Fig. 1.7. Code de repérage des conducteurs isolés

**C.**

Les conducteurs repérés par des couleurs autres que la double coloration vert et jaune et la couleur bleu clair, ou par d'autres moyens (tels que chiffres), peuvent être utilisés pour tous usages sauf comme conducteur de protection ou comme conducteur neutre (à l'exception des câbles à plus de 5 conducteurs).

**D.**

En cas d'utilisation de câbles mono conducteurs, les repéages par coloration continue de l'isolation ne sont pas nécessaires.

Toutefois, dans ce cas, les extrémités des conducteurs doivent être repérées de façon durable, lors de l'installation:

- par la double coloration vert et jaune pour le conducteur de protection;

- par la couleur bleu clair pour le conducteur neutre.

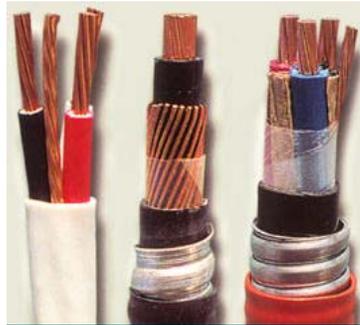
Cependant, ce repérage n'est pas nécessaire pour les conducteurs neutres de section inférieure à celle des conducteurs de phase correspondants.

**E.**

Lorsqu'il est fait usage de conducteurs et câbles non normalisé, le repérage doit être réalisé par tout, moyen approprié à tout endroit où l'enveloppe des conducteurs est apparente et, en tout cas, à proximité de chaque connexion .

**1.4.1.3. Conducteurs en cuivre versus aluminium**

Le cuivre et l'aluminium sont deux matériaux employés couramment comme conducteurs dans les fils et câbles modernes (*fig. 1.8.* et *fig. 1.9.*). Quoique son poids soit plus léger que le cuivre, la conductivité électrique de l'aluminium n'est seulement que 62% de celle du cuivre. Ceci signifie qu'un câble en aluminium doit avoir un diamètre accru pour porter le même courant admissible. Ceci est un facteur important à considérer, par exemple, lorsque l'on installe des câbles dans des conduits existants. Un câble de diamètre plus élevé nécessite aussi plus d'isolant, ce qui augmente ses coûts de fabrication, son poids et diminue sa facilité d'être plié.



*Fig. 1.8.* Conducteurs en cuivre

Les conducteurs de cuivre plus robustes et durables, résistent aux entailles inévitables et aux abus mécaniques auxquels, quand ils sont soumis lors de leur installation. Par opposition, l'aluminium est plus

mou, son module d'élasticité est inférieur à celui du cuivre, et il est sujet au fluage à froid lorsque il est soumis à la haute pression d'un raccord.

Puisque le diamètre d'un câble de cuivre peut être plus petit et que par conséquent son isolation, son armure et sa gaine sont moins rigides que ceux d'un câble d'aluminium, le câble de cuivre est plus souple et ainsi, un effort moindre est requis pour le courber en place lors de son installation.



**Fig. 1.9.** Câble d'aluminium endommagé suite à la corrosion par l'eau

Les alliages d'aluminium constituent des métaux plus actifs que le cuivre et ils corrodent en présence d'humidité (d'eau).

De l'eau dans un câble de cuivre ne provoquera aucune sérieuse corrosion. Toutefois, de l'eau en contact avec un conducteur d'aluminium recouvert d'une enveloppe isolante donnera lieu à une importante corrosion puisque l'aluminium se transformera en hydroxyde et en gaz d'hydrogène. L'hydrogène occupant un volume plus grand que celui du métal du conducteur, entraînera un renflement de l'isolation du conducteur et, éventuellement, la destruction du câble. L'hydrogène produit peut souvent atteindre de hautes pressions qui provoqueront des dommages.

Les conducteurs d'aluminium nécessitent une protection spéciale et ils ne peuvent être utilisés comme équivalents ou remplacements du cuivre dans le cas de certaines applications critiques.

#### 1.4.1.4. Câbles électrique basse tension

##### *Câble basse tension domestique (fig. 1.10.)*

Ce câble robuste est flexible. Un fil résistant est spiralé autour de deux conducteurs isolés. Ce fil résistant est en contact avec l'âme d'un des conducteurs à intervalles réguliers appelés points de contact (un des conducteurs est dénudé sur quelques mm). Une gaine extérieure assure l'isolation électrique.



**Fig. 1.10.** Câble domestique

Le câble étant ainsi constitué d'une suite de résistances en parallèle, cela résulte en des zones à puissance constante. Le câble peut être coupé à n'importe quelle longueur.

***Câble basse tension pour le transport de l'énergie électrique (fig. 1.11.)***

Le câble multiconducteur est destiné aux circuits de commande et alimentation. Il comporte des composants électroniques très sensibles aux perturbations haute fréquence créées par le réseau haute tension (manoeuvres de sectionneurs). Ce câble a une protection anti-inductive par écran cuivre relié à la terre, réduisant l'impédance de transfert lors d'augmentation subite de fréquence.



*Fig. 1.11. Câble pour le transport de l'énergie électrique*

***Câbles de distribution basse tension (fig. 1.12.) (torsade de distribution)***

Conducteur de phase pour l'éclairage public. Câble de réseau aérien très largement utilisé depuis de nombreuses années. Accepte différentes conditions de pose: tendu, porté, en fonction de tracés. Ce câble a permis de remplacer le réseau cuivre nu par réseau isolé, sans majoration des coûts d'installation.



*Fig. 1.12. Câbles de distribution*

***Câbles de branchement basse tension (fig. 1.13.) (torsade de branchement)***

Ce câble est utilisé pour raccorder les abonnés à partir du réseau aérien. Pour être posé tendu entre deux pinces, l'isolant doit supporter la contrainte.



*Fig. 1.13. Câbles de branchement*

**1.4.1.5. Câble moyenne tension**

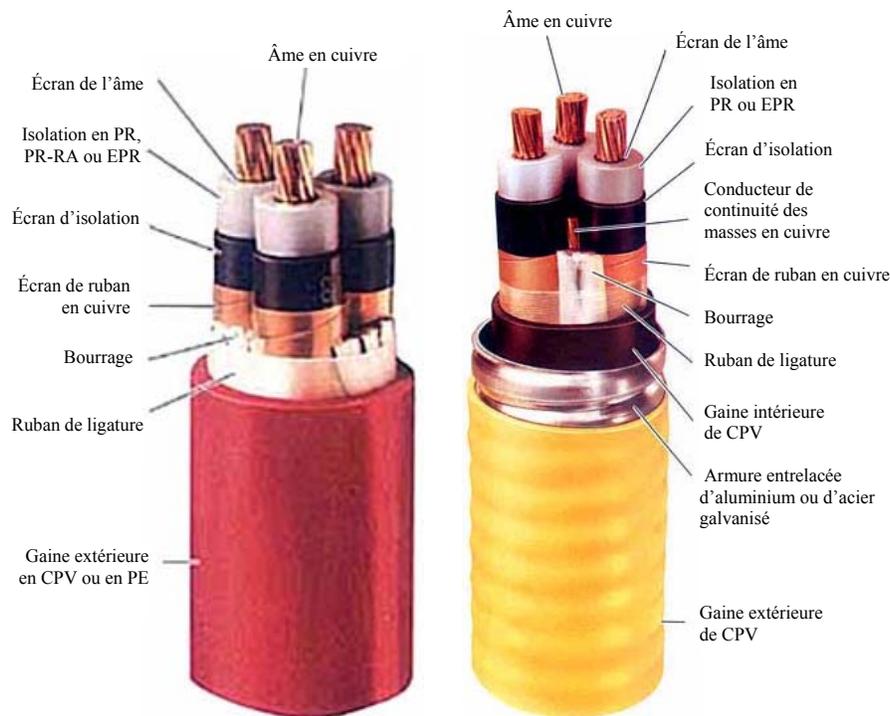
Les systèmes d'énergie de moyenne tension ont pour point de départ les postes de transformation; ils fournissent l'électricité à un large éventail d'utilisateurs d'énergie électrique. Quand on choisit un câble

l'objectif premier est de fournir en toute sécurité la quantité d'énergie électrique demandée, sans risque d'interruption de courant ou de problème, dans un réseau capable de supporter des demandes et des surcharges inattendues.

Il existe sept types de câbles d'énergie de moyenne tension en cuivre de 5 à 46 KV, type faisant ici référence à la configuration du câble. La plupart sont dotés d'une ou de trois âmes.

### **Câble Teck**

Ils sont souples, résistants aux chocs mécaniques, à la corrosion et ils sont peu encombrants et fiables. Dans les câbles à plusieurs âmes, les âmes isolées sont assemblées avec un conducteur de continuité des masses en cuivre non isolé. Dans les câbles à âme blindée, le conducteur de continuité des masses touche le blindage de cuivre.



**Fig. 1.15.** Câble avec écran

**Fig. 1.14.** Câble Teck

### **Câble avec écran**

Les câbles d'énergie blindés peuvent être dotés d'une ou de trois âmes. On commence par fabriquer une âme en cuivre recuit, massive ou toronnée. Cette dernière peut être à section compacte ou comprimée. On pose ensuite un écran semi-conducteur, une enveloppe isolante, et un écran d'isolation semi-conducteur.

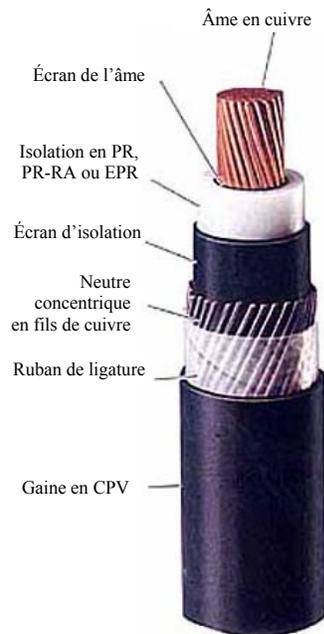
Enfin, on pose l'écran métallique, constitué habituellement de ruban(s) de cuivre appliqué(s) avec chevauchement ou écart. Il existe d'autres types d'écrans métalliques, dont les écrans de fils concentriques et de ruban de cuivre ondulé appliqué dans le sens de la longueur.

### ***Câble à nature concentrique***

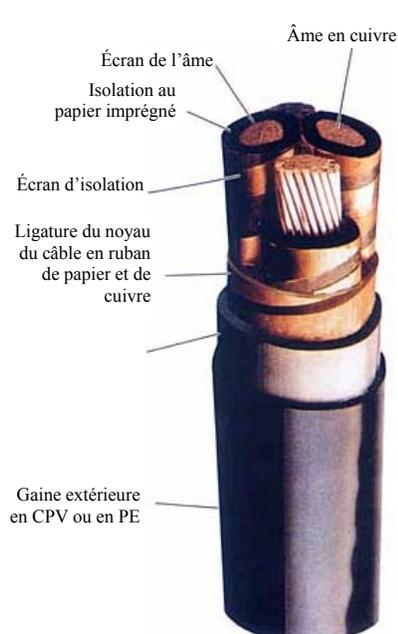
Ils sont dotés d'une ou de trois âmes. Les deux constructions standard sont sans gaine et à gaine, ce dernier type étant le plus répandu.

En règle générale, l'âme est fabriquée en cuivre recuit, toronné. Il existe aussi des âmes à fils étamés et des âmes massives.

Le neutre concentrique, d'où le câble tire son nom, est constitué de plusieurs fils de cuivre nu ou étamé, appliqués en spirale autour de l'écran d'isolation.



**Fig. 1.16.** Câble à nature concentrique



**Fig. 1.17.** Câbles isolés au papier avec gaine de plomb

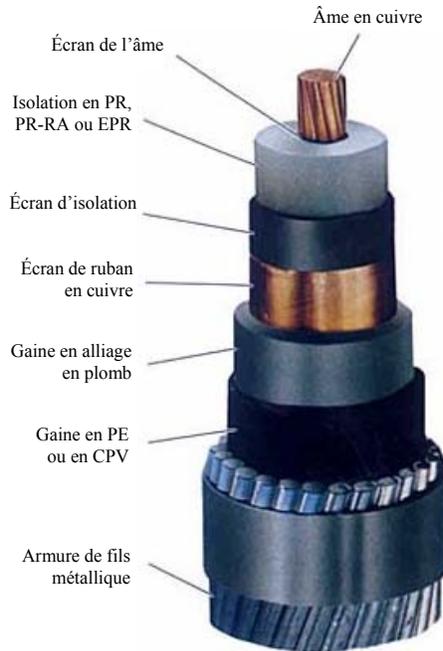
### ***Câbles isolés au papier avec gaine de plomb***

Les câbles isolés au papier avec gaine de plomb servent à la distribution d'énergie et aux usages industriels. Ils se posent à découvert, dans des conduits souterrains, ou en pleine terre. On commence par confectionner une ou plusieurs âmes de cuivre recuit.

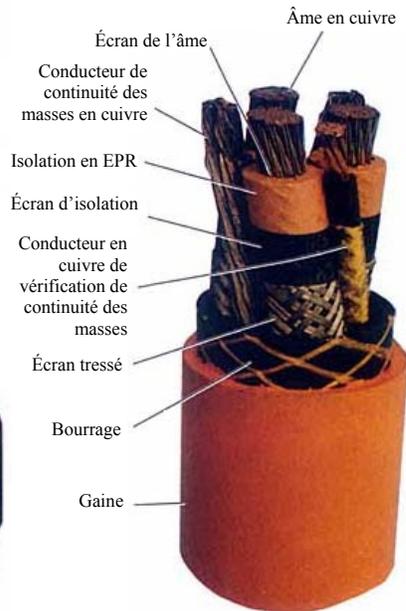
L'âme peut être toronnée circulaire à couches concentriques, compacte ou comprimée sectorale, ou d'une âme segmentée si sa dimension est plus grande. Le noyau du câble isolé est imprégné d'un composé à base de polybutène de viscosité moyenne.

### ***Câbles sous-marins***

Le câble à liquide fluide basse pression peut supporter des niveaux de tension très élevés. Cependant, dans des installations de moyenne tension, on opte pour le câble à isolant synthétique parce qu'il peut facilement répondre à la demande électrique du système.



**Fig. 1.18.** Câbles sous-marins



**Fig. 1.19.** Câbles miniers

Un écran de ruban de cuivre est appliqué en spirales, puis une gaine en alliage de plomb. Le câble sous-marin étant exposé à de rudes conditions climatiques, on exige souvent une gaine d'alliage de plomb à cause de sa compressibilité, de sa souplesse, et de sa résistance à l'humidité et à la corrosion. Cette dernière est habituellement recouverte de diverses couches externes dont une gaine de PE ou de CPV, et d'une armure de fils métalliques.

### ***Câbles miniers***

Les câbles miniers sont fixes ou portatifs. Ce type de câble doit être d'abord souple et résistant à l'abrasion et autres dommages mécaniques. Étant souvent enroulé puis déenroulé, ce câble est souvent conçu spécifiquement pour un besoin particulier.

Les âmes de ce câble sont en fils de cuivre recuit, étamés ou non.

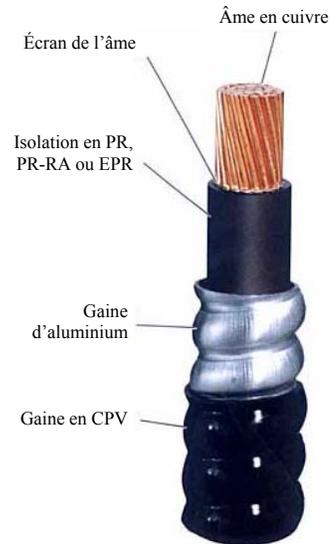
L'écran tressé est constitué de fils de cuivre étamés ou d'une combinaison de fibres textiles et de fils de cuivre étamés. Le ou les

conducteurs de continuité des masses sont des fils de cuivre recuit, toronnés étamés ou non, ainsi que le conducteur de vérification de continuité des masses est constitué de fils de cuivre recuit, toronnés isolés au EPR et recouvert de nylon tressé.

### **Câbles à gaine d'aluminium**

Ce type de câbles d'énergie s'utilise pour les câblages dissimulés ou à découvert, dans des emplacements secs, humides ou mouillés, ou à l'extérieur. Ils peuvent être installés dans des chemins de câbles en échelle ou dans des chemins de câbles ajourés ou sans ouverture.

Les câbles d'énergie à gaine d'aluminium sont dotés d'une à quatre âmes de cuivre recuit toronnées. Ces âmes isolées sont ensuite recouvertes d'une gaine d'aluminium ondulé étanche aux liquides et aux gaz et ensuite d'une gaine de CPV.



**Fig. 1.20.** Câbles à gaine d'aluminium

#### **1.4.1.6. Pertes en câbles**

Le transport d'électricité ne se fait pas sans perte. Celle-ci s'évanouit sous forme de chaleur. La quantité d'énergie perdue est fonction, d'une part de la résistance du câble ( $R$ ) et, d'autre part, du carré du courant électrique qui y circule ( $I^2$ ). C'est ce qu'on appelle une perte par effet Joule.

$$J = f(I^2 \cdot R)$$

Utiliser des conducteurs en cuivre dont la section est plus importante permet de réduire la résistance des câbles et, par conséquent, les pertes liées à l'effet Joule. Toute réduction de ces pertes entraînera une réduction de la consommation électrique, avec les effets positifs que l'on imagine tant sur le budget du consommateur que sur l'environnement.

S'il est vrai qu'une utilisation plus importante du cuivre implique une dépense initiale plus élevée, les économies réalisées sur les frais d'énergie grâce à cet investissement en permettront le remboursement très rapide. En outre, cet investissement sera d'autant plus rentable qu'il s'adaptera facilement à une éventuelle augmentation de la demande du consommateur.

Ce raisonnement en termes d'utilisation rationnelle de l'énergie intervient de plus en plus dans les calculs techniques de dimensionnement des câbles.

#### 1.4.1.7. Exercice

Déterminez la condition de stabilité thermique au échauffement en régime discontinu pour le conducteur A2YSY, traverse d'un courant sollicité par le récepteur  $I_C = 80A$ . Le câble est formé par 4 conducteurs est la température du sol est  $30^0$  C. Le coefficient de correction en fonction du résistance thermique du sol est égale à  $K_{C1} = 0.68$ .

#### Coefficient de correction $K_{C2}$ en fonction des nombres des câbles

Module de ënterément	Nombres des câbles						
	1	2	3	4	5	6	8
	1	0.85	0.75	<b>0.68</b>	0.64	0.60	0.56

#### Coefficient de correction $K_{C3}$ en fonction de température de sol

Température maximale du sol, °C	10	15	20	25	30	35	40
	1.09	1.05	1	0.95	<b>0.89</b>	0.84	0.77

**Réponse:**

$$I_{Cadm} = I_C / a \cdot K$$

où: a - coefficient de correction du régime de travail,  
K - coefficient de correction des conditions de refroidissement,

$$a = 0.875 / \sqrt{DA}$$

où: DA - durée relative de connexion

$$DA = t / T$$

où: t = 4 min - durée de fonctionnement  
T = 10 min - durée total de cycle

$$DA = t / T = 4 / 10 = 0.4$$

$$a = 0.875 / \sqrt{0.4} = 0.875 / 0.63 = 1.38$$

$$K = K_{C1} \cdot K_{C2} \cdot K_{C3}$$

où:  $K_{C2}$  - coefficient de correction en fonction des nombres des câbles,

$K_{C3}$  - coefficient de correction en fonction de température de sol,

$$K = 0.68 \cdot 0.68 \cdot 0.89 = 0.41$$

$$I_{\text{Cadm}} = 80 / (1.38 \cdot 0.41) = 80 / 0.56 = 142 \text{ A}$$

#### 1.4.2. Tubes et tuyaux de protection

La protection des conduits isolés utilisés dans les installations électriques intérieures, contre les coups mécaniques, la poussière, l'humidité ou l'action corrosive du milieu se fait à l'aide des tubes de protection. Ces tubes de protection sont en fer-blanc en acier ou en PVC et sont montés apparemment ou sont enterrés sur des supports non combustibles et à distance par rapport aux sources de chaleur.

Du point de vue de leur construction, les tubes de protection se divisent en deux grandes classes: tubes à gaine rigide et tubes à gaine flexible.

- *Tubes à gaine rigide*

Les tubes à gaine rigide peuvent être: des tubes de protection - symbole P; des tubes isolateurs finement protégés - Symbole IP; des tubes isolateurs de protection tanches - symbole IPE; des tubes IPY et IPX (en PVC), des tubes de protection étanches laqués - symbole PEL, des tuyaux de protection en acier - symbole TA, tuyaux de protection en PVC - symbole PVC - U.

- *Tubes à gaine flexible*

Les tubes à gaine flexible sont utilisés pour la protection des conduits sur des trajets soumis aux vibrations et présentent les variantes de constructions suivantes: tubes isolateurs finement protégés, flexibles - symbole IPF, tubes isolateurs protégés flexibles, avec résistance mécanique - symbole IPF, tube de protection flexible avec résistance mécanique - symbole PFR.

Le choix des diamètres des tubes de protection se fait en fonction du type et du nombre de conduits du même tube, respectivement le type et la section des conducteurs du câble protégé.

#### 1.4.3. Appareils électriques

Dans les installations électriques à basse tension on utilise un grand nombre d'appareils électriques caractérisés par les performances atteintes et la fonction qu'ils accomplissent dans les schémas électriques. Les principales caractéristiques techniques sont: la tension nominale  $U_n$ , le courant nominal -  $I_n$ , la tension de commande  $U_c$  de l'électro-aimant ou du moteur d'action, la fréquence de connexion  $f_c$ , la capacité de rupture  $I_r$ , la capacité de fermeture  $I_i$ , le temps de rupture  $t_r$ , le courant limite thermique  $I_{lt}$  (à un temps  $t_{lt}$ ), le courant

limite dynamique ( $I_{ld}$ ), la caractéristique de protection (fonctionnement)  $I_{act} = f(t)$  et le degré de protection par rapport au milieu [3] (la protection est indiquée par le symbole IP précédé de trois chiffres qui signifient la protection contre la pénétration des corps étrangers, l'infiltration de l'eau et contre les coups mécaniques).

Pour la définition des relais et des déclencheurs, on indique leur courant nominal  $I_n$ , le courant de service  $I_s$  et le courant réglé  $I_r$ .

Du point de vue des fonctions qu'ils accomplissent, on distingue les catégories suivantes: appareils de connexion, appareils de protection, appareils pour le démarrage des moteurs électriques, appareils de signalisation et appareils de mesure.

*a) Appareils de connexion* - ils sont destinés à établir et à interrompre les circuits parcourus par les courants nominaux. La fréquence de connexion est réduite et n'assure pas la déconnexion des récepteurs en cas de défaut. De cette classe font partie: les prises et les fiches bi ou tripolaires, normales ou protégées en montage apparent ou enterré, fixes ou mobiles, séparateurs et interrupteurs, à levier ou à gaine, bi ou tripolaires, interrupteurs et commutateurs pour les installations d'éclairage et de commande des machines-outils, contacteurs électromagnétiques, utilisés dans la commande des moteurs électriques.

*b) Appareils de protection.* Ils sont utilisés pour la protection des récepteurs et/ou des réseaux électriques contre des courts-circuits, des surcharges, et pour l'absence ou la baisse de la tension d'alimentation. De cette catégorie font partie: les fusibles, les contacteurs à relais et les interrupteurs automatiques.

- *les fusibles* qui assurent la protection contre les courants de court-circuit de grandes valeurs. Ils peuvent être: auto, mignons, normaux à filet et à fourches qui peuvent être de petite, moyenne et grande capacité de coupure. D'après le temps d'action ils peuvent être lents, rapides et ultrarapides.

- *les contacteurs à relais* qui sont destinés à protéger contre les surcharges (par relais thermiques) et l'absence ou la diminution de la tension d'alimentation.

- *les interrupteurs automatiques* qui assurent la protection contre: les surcharges par des déclencheurs thermiques DT, les courants de court-circuit de valeurs moyennes par les relais et les déclencheurs électromagnétiques, avec action instantanée ou temporisée, contre la diminution ou l'absence de la tension d'alimentation dans les relais ou les déclencheurs de tension minimale DTm avec action temporisée.

*c) Appareils pour le démarrage des moteurs électriques.* Ils assurent la diminution du courant de démarrage de ceux-ci. Ils peuvent être: des commutateurs étoile-triangle manuels et automatiques; des autotransformateurs de tension et des rhéostats de démarrage.

*d) Appareils de signalisation.* Ils ont le rôle d'indiquer par des signaux acoustiques ou optiques, les situations normales ou anormales de fonctionnement des installations. De cette catégorie font partie: les lampes de signalisation, les huppes, les klaxons, les sirènes et les cloches.

*e) Appareils de mesure et leurs accessoires.* Il s'agit des ampèremètres et des voltmètres, des commutateurs voltmétriques, des wattmètres et varmètres, des compteurs d'énergie et des transformateurs de courant et de tension.

#### **1.4.4. Tableaux de distribution**

Les tableaux de distribution sont des parties composantes des installations électriques qui servent en même temps au démarrage et puis à la distribution de l'énergie électrique à différents consommateurs.

D'après leur construction ils peuvent être:

- tableaux ouverts (non protégés ou avec degré de protection IP10);
- tableaux inclus avec les degrés de protection IP20, IP23, IP30 ou IP33;
- tableaux capsulés avec les degrés de protection IP40, IP41, IP43, IP44, IP50, IP53, IP54, IP55, IP60 ou IP65.