Comment les SLT protègent les personnes ?

Le risque pour le corps humain dépend de l'intensité du courant électrique qui le traverse et du temps de passage dans le corps (et du chemin du courant électrique dans le corps).

L'intensité du courant électrique traversant va dépendre de la tension de contact et de la résistance du corps humain. Cette valeur de résistance dépend de l'humidité du lieu.

Évidemment les valeurs limites sont propres à chaque corps et c'est l'objectif d'une norme (NFC 15-100 et CEI 364) de fixer des valeurs permettant de protéger tout le monde.

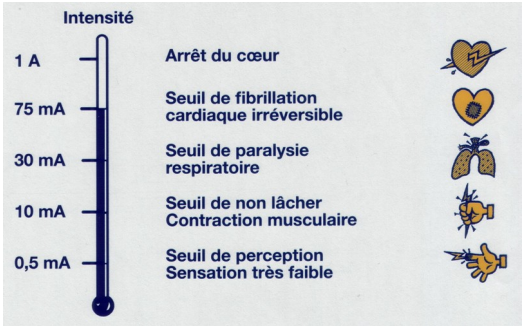
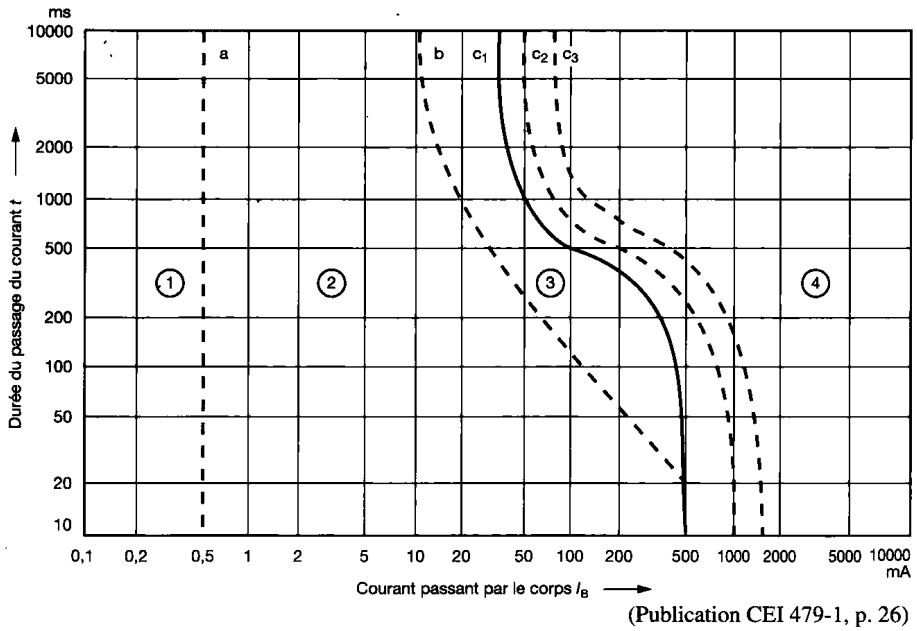


Illustration 1: effets du courant alternatif sur le corps humain

TENSION DE CONTACT	PEAU SÈCHE	PEAU HUMIDE	PEAU MOUILLÉE	PEAU IMMERGÉE
25 V	5 000	2 500	1 000	500
50 V	4 000	2 000	875	440
250 V	1 500	1 000	650	325
> 250 V	1 000	1 000	650	325

Illustration 2: résistance du corps humain en fonction de la tension de contact et de l'humidité de la peau.

Zones temps/courant des effets du courant alternatif (15 Hz à 100 Hz) sur des personnes



(Publication CEI 479-1, p. 26)

Illustration 3: influence du courant ET du temps de passage

Les effets du courant dans les différentes zones sont développées plus bas.

Zone 1 : habituellement aucune réaction donc pas de risque de choc électrique .

Zone 2 : le courant est perçu sans réaction de la personne : aucun effet physiopathologique.

Zone 3 : le courant provoque une réaction, le courant doit être coupé par un tiers afin de mettre la personne hors danger ; habituellement aucun dommage organique, mais probabilité de contractions musculaires et difficultés de respiration, de perturbations réversibles dans la formation et la propagation des impulsions dans le cœur.

Zone 4 : en plus des effets de la zone 3, la fibrillation ventriculaire augmente dans 5% des cas pour la courbe C2, 50 % des cas pour la courbe C3, et plus de 50 % au-delà de la courbe C3 ; d'où des effets physiopathologiques, tels qu'arrêt du cœur, arrêt de la respiration, brûlures graves…

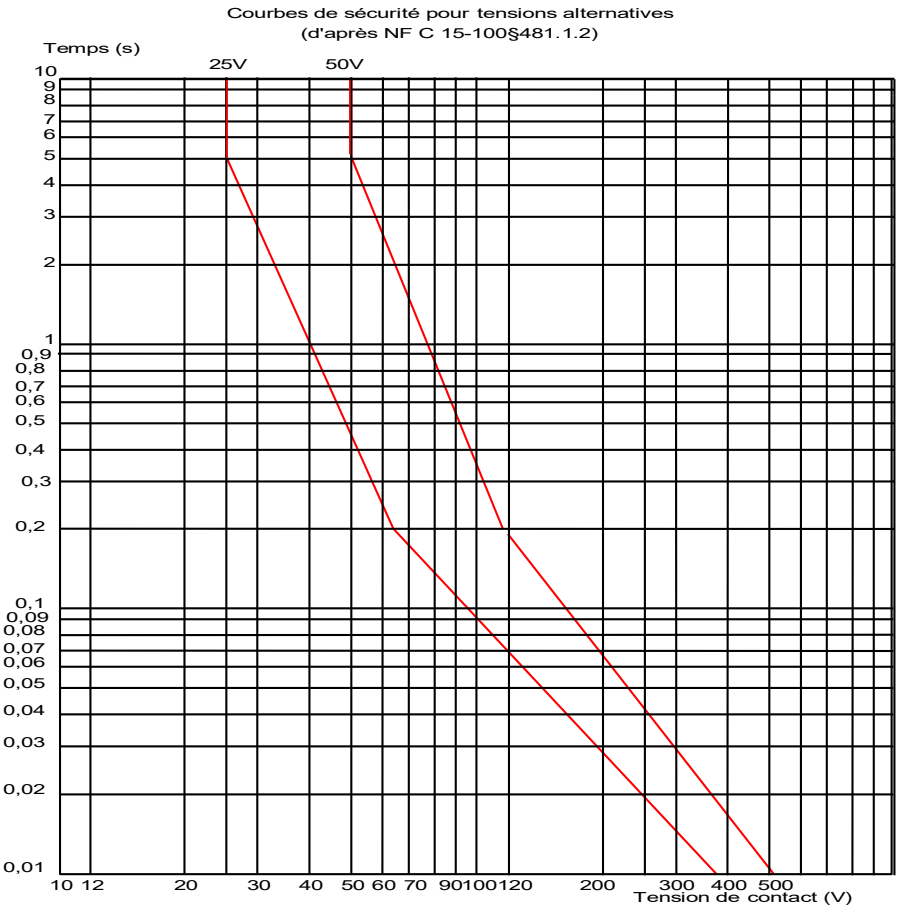


Illustration 4: temps d'ouverture des protections en fonction de la tension d'alimentation

La tension de contact est la tension entre le contact humain et la terre

courbe de gauche : condition mouillée / Courbe de droite : condition normale

Rq : le temps d'ouverture d'un disjoncteur est de l'ordre de 40ms

QUESTIONS GÉNÉRALES.

Protection des personnes

Donner la valeur du seuil de danger mortel du courant (Illustration 1) ?

Identifier la limite de la zone de dangerosité du courant (Illustration 3) ?

Déduire le temps maxi d'ouverture de la protection pour le seuil de danger mortel du courant ?

Compléter le tableau suivant :

Type de local	Tension de contact Uc	Résistance du corps humain R_H	Courant traversant le corps Id	Danger pour la personne Oui/N
Local sec peau humide	250V			
Local sec peau humide	50V			
Local humide peau immergée	50V			
Local humide peau immergée	25V			

Justifier les seuils de tension de contact de sécurité pour les locaux secs / humides.

Local sec	
Local mouillé	

Préciser le temps de déclenchement des protections lors d'un contact direct avec une phase (230V).

Local sec	
Local mouillé	

Calcul des résistances des câbles de distribution :

Résistance des fils de phase :

Longueur des câbles de phase en cuivre : L=50m

section des câbles : S=50mm²

résistivité du cuivre : $\rho = 22{,}5 \ \ 10^{-3} \Omega \, mm^2/m$

Calculer la résistance d'un câble R_C :

ÉTUDE DES SLT

Le but de l'exercice est de déterminer la façon dont est protégé un opérateur en fonction des différents régimes de neutre. On se place dans le pire cas : peau humide.

Les connexions (fils) peuvent avoir une résistance non négligeable, parfois des valeurs calibrées. Chaque cas sera étudié comme un cas particulier.

SCHÉMA TT.

PRINCIPE.

T : le neutre du secondaire du transformateur est relié à la Terre $R_N = 5\,\Omega$

T : la masse de chaque équipement dispose d'une connexion à la terre $R_T = 10\,\Omega$

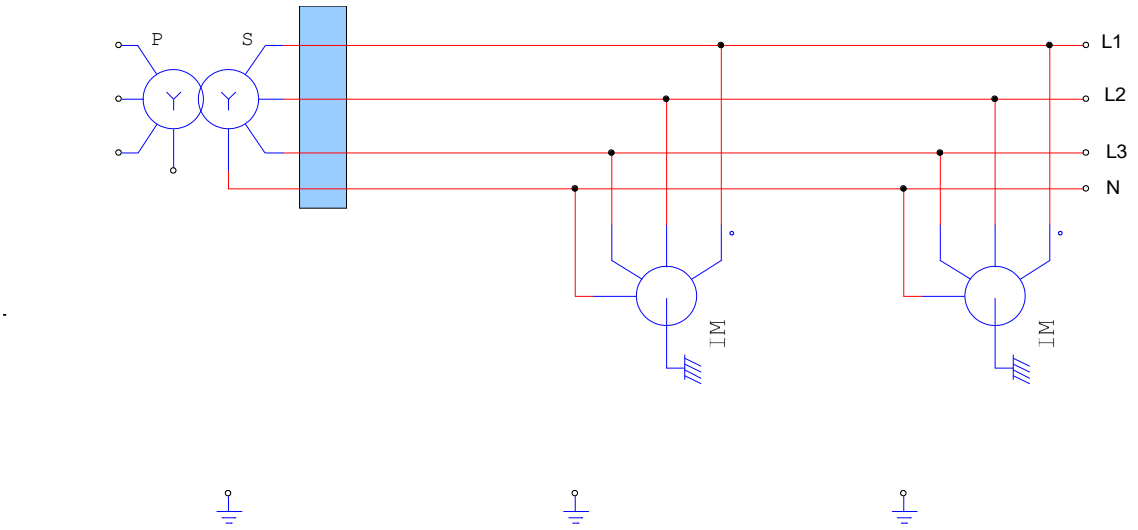


Illustration 5: SLT TT - à compléter

I

APPARITION D'UN DÉFAUT D'ISOLEMENT.

La masse du moteur gauche est en contact avec la phase 1.

Flécher sur l'Illustration 5 le parcours du courant de défaut. Nommer les points de connexion.

CALCUL DU COURANT DE DÉFAUT.

Justifier qu'on peut négliger la résistance des câbles devant celles des prises de Terre R_T et R_N .

Dessiner le schéma équivalent du circuit lors d'un défaut d'isolement.

Faire apparaître la tension réseau V_R , les résistances, les points de connexion, le courant de défaut I_D , la tension de contact U_C

Calculer le courant de défaut I_D puis la tension de contact U_C .

Préciser les temps d'ouverture de la protection.

Justifier le type de protection qui assure la protection des personnes dans ce SLT.

SCHÉMAS TN.

PRINCIPE.

T : le neutre du secondaire du transformateur est relié à la Terre $R_N = 5\Omega$

N : toutes les masses sont reliées au neutre du transformateur par le conducteur PE ou PEN.

Ne pas oublier les résistances de câble Rc … !!!

TN-S : TN-Séparé : le conducteur de protection PE et le conducteur neutre sont reliés uniquement au poste de distribution et à aucun autre point. le conducteur de protection est séparé du conducteur de neutre N.

Le **TN-S** est obligatoire pour les réseaux ayant des conducteurs avec une section inférieure à 10 mm^2 en Cuivre ou une section inférieure à 16 mm^2 en Aluminium.

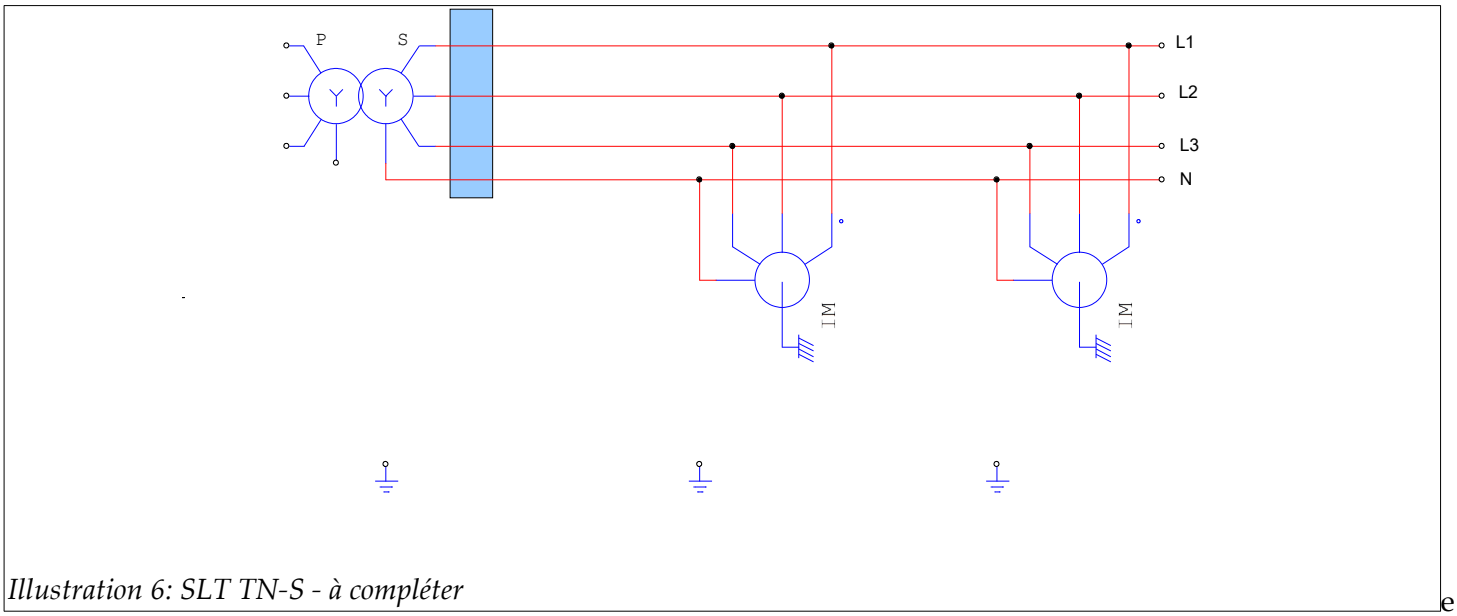


Illustration 6: SLT TN-S - à compléter

TN-C : TN-Confondu : le conducteur de protection est confondu avec le conducteur de neutre N PEN.

Sur tous les systèmes, le neutre est connecté au conducteur de protection, celui-ci est connecté au PEN.

- Ce *SLT* permet d'économiser un fil (ainsi qu'un pôle sur chacun des appareils de protection).
- Le coût d'un schéma de liaison à la terre TN-C est moindre que TN-S car le conducteur de protection PE et le conducteur de neutre N sont confondus .

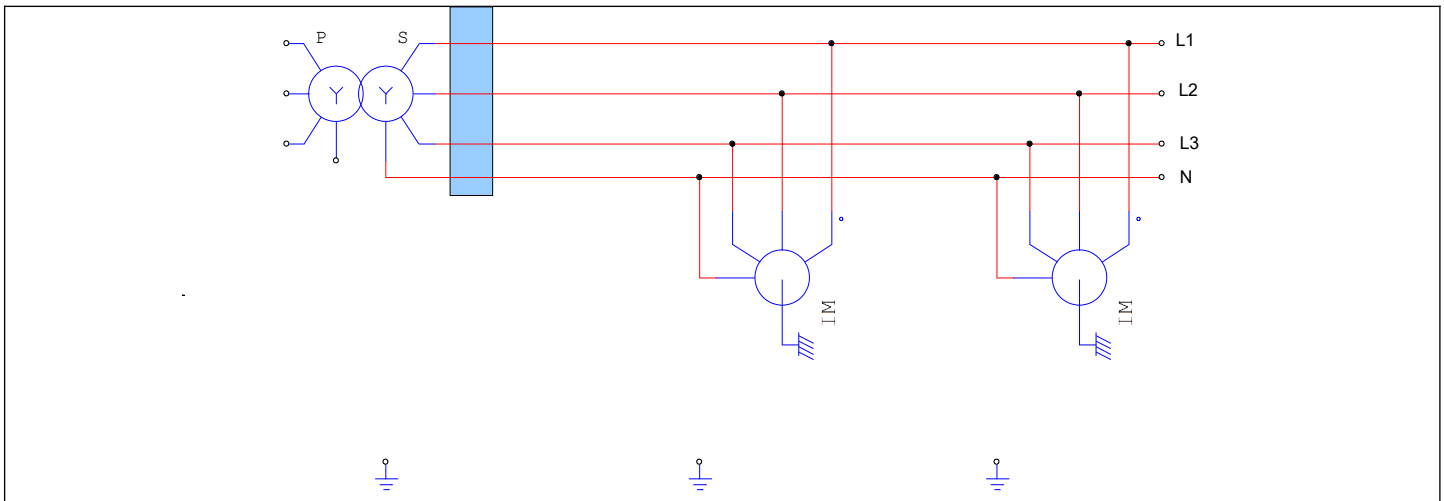


Illustration 7: SLT TN-C - à compléter

TN-C-S : le schéma TN-S est placé en aval du schéma TN-C.

Le conducteur de protection PE et le neutre N sont confondus du transformateur jusqu'au point de distribution. Connecter le moteur gauche en TC et le moteur de droite en TS.

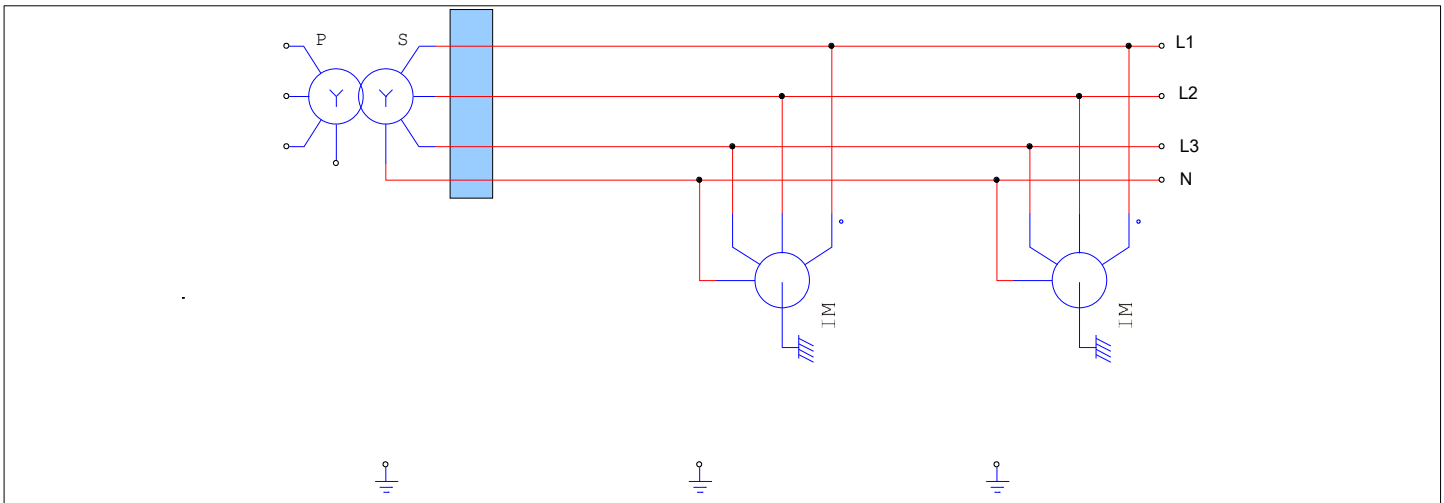


Illustration 8: SLT TN-C-S - à compléter

Apparition d'un défaut d'isolement.

Quel que soit le régime TN, le principe de protection reste le même.

La masse du moteur gauche est en contact avec la phase 1.

Flécher le parcours du courant de défaut. Nommer les points de connexion.

Dessiner le schéma équivalent du circuit lors d'un défaut d'isolement.

Justifier qu'on ne peut pas négliger la résistance des câbles dans ce cas.

Faire apparaître la tension de court-circuit V_{cc} (tension de phase disponible, elle représente 80% de la tension normale V_R), les résistances, le courant de défaut I_D , la tension de contact U_C .

Justifier, quel que soit le régime TN que le défaut d'isolement dans le SLT TN est équivalent à un court circuit,

Calculer la tension de court circuit V_{cc} .

Calcul du courant de défaut.

Calculer le courant de défaut I_D et la tension de contact U_C .

Préciser le temps d'ouverture de la protection.

Justifier alors le type de protection qui assure la protection des personnes dans ce SLT.

Schéma IT.

Principe.

I : le neutre du secondaire du transformateur est soit isolé de la Terre, soit relié par une forte impédance à la Terre.

T : toutes les masses sont reliées par le conducteur PE à un même point de mise à la Terre (« masses interconnectées »)

Longueur des câbles en cuivre : L=50m, section des câbles : S=50mm², résistivité du cuivre : $\rho = 22{,}5 \ \ 10^{-3} \Omega\, mm^2/m$

impédance de la prise de terre au transformateur $Z_N = 3000\,\Omega$ (résistive)

résistance de la prise de terre au point de connexion des masses $R_T = 10\,\Omega$

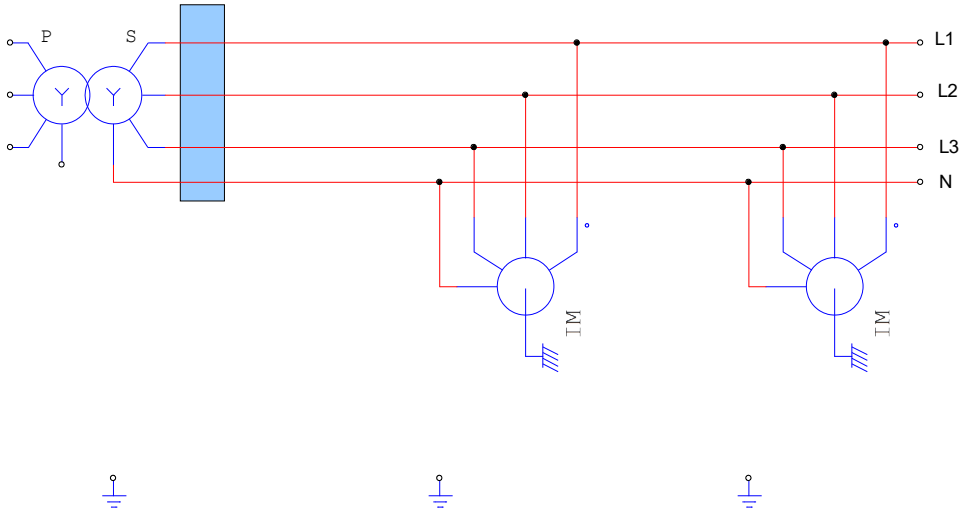


Illustration 9: SLT IT masses interconnectées - à compléter

I

Premier défaut d'isolement.

La masse du moteur gauche est en contact avec la phase 1.

Flécher sur l'Illustration 10 le parcours du courant de défaut. Nommer les points de connexion.

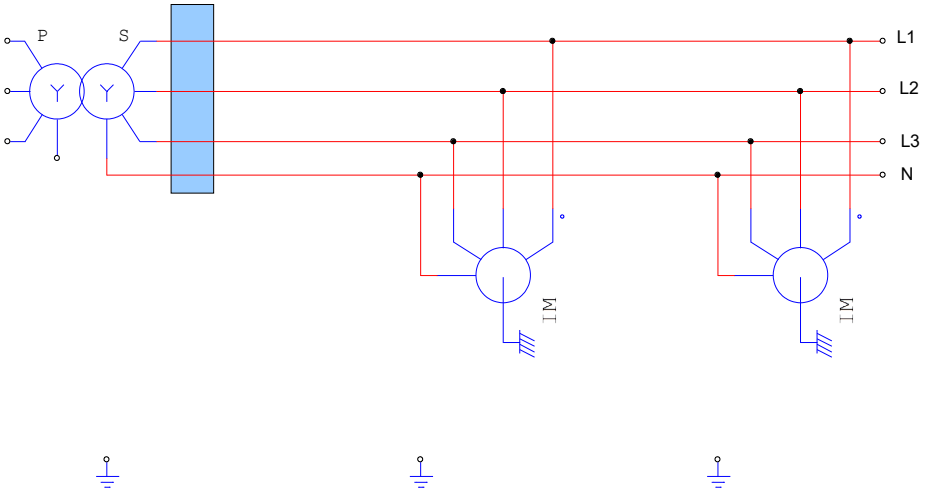


Illustration 10: SLT IT – premier défaut d'isolement

Calcul du courant de 1er défaut.

Dessiner le schéma équivalent du circuit lors du premier défaut d'isolement.

Faire apparaître V_R , les résistances, les points de connexion, le courant de défaut, la tension de contact

Calculer le courant de défaut I_{D1} et la tension de contact U_{C1} .

Justifier qu'il n'y a pas de danger lors d'un premier défaut d'isolement.

Second défaut d'isolement.

En plus du 1er défaut, la masse de la 2ème machine est en contact avec le neutre (2ème défaut).

Flécher sur l'Illustration 11 le parcours du courant de défaut. Nommer les points de connexion.

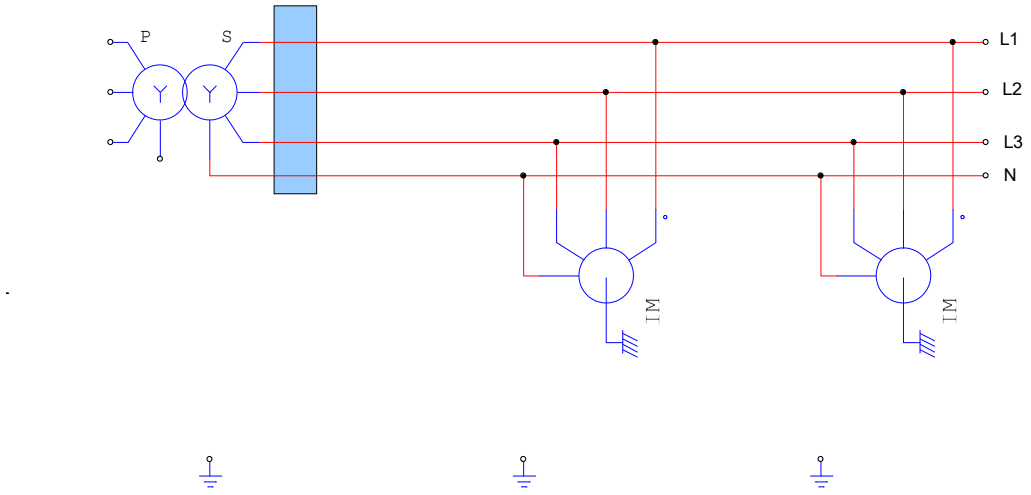


Illustration 11: SLT IT – 2 défauts d'isolement

Déterminer le type de défaut.

Calcul du courant de 2ème défaut.

Dessiner le schéma équivalent du circuit lors du second défaut d'isolement. .

Faire apparaître V_{cc} , les résistances, les points de connexion, le courant de défaut, la tension de contact

Calculer le courant de défaut I_{D2} et la tension de contact U_{C2} .

Préciser le type de protection à utiliser et les temps d'ouverture.

COMPARATIF DES SLT.

Copie « intersections » Novembre 1998 -Schneider.

Aucun régime de neutre n'est universel et tous les SLT permettent d'assurer une égale protection contre les chocs électriques dès lors qu'ils sont mis en œuvre et utilisés en conformité avec les normes.

Le choix d'un SLT n'est pas toujours possible. Les propres choix techniques du distributeur d'énergie pour son réseau, la puissance de l'installation et les normes peuvent imposer un SLT ou limiter le choix.

Un choix n'est pas forcément unique pour l'ensemble de l'installation, plusieurs SLT peuvent coexister à l'intérieur d'une même installation pour répondre à divers besoins du site concerné.

Des critères de comparaison développés ci-après peuvent guider ce choix :

1ER CRITÈRE : PROTECTION DES PERSONNES CONTRE LES CHOCS ÉLECTRIQUES.

Sur ce critère tous les régimes de neutre sont équivalents dès lors qu'ils sont mis en oeuvre et utilisés en conformité avec les normes. Mais :

- schéma TN : il faut être vigilant en cas d'extension de l'installation car la protection des personnes est entièrement basée sur la continuité du conducteur de protection, la maîtrise des impédances de boucle et la bonne adéquation des réglages des protections avec ces impédances.

  Il faut donc s'assurer que les extensions ne modifient pas ces conditions.
- schéma IT : mêmes recommandations pour ce qui concerne le défaut double.

2ÈME CRITÈRE : PROTECTION DES BIENS CONTRE LES INCENDIES OU EXPLOSIONS D'ORIGINE ÉLECTRIQUE.

- Schémas TT et IT : L'exploitation correcte d'installation en schéma TT et IT conduit à un risque d'incendie quasi nul et le schéma IT est conseillé dans les installations présentant des risques d'explosion.

- Schéma TN : en exploitation normale le TN-C présente un risque d'incendie plus élevé que les autres. En effet, le courant de déséquilibre des charges parcourt en permanence non seulement le conducteur PEN, mais aussi les éléments qui lui sont raccordés : charpentes métalliques, masses, blindages, etc. Pendant un court-circuit, les énergies dissipées dans ces trajets non prévus augmentent considérablement. La valeur élevée des courants de défaut :

  - interdit le TN-C dans les locaux à risques,
  - oblige en TN-S à prévoir des DDR pour ces mêmes locaux.

3ème critère : continuité d'alimentation.

Le schéma IT est celui qui favorise la meilleure continuité d'alimentation en évitant le déclenchement au premier défaut d'isolement.

Il impose de contrôler l'isolement par un CPI et de disposer d'un service entretien compétent.

Le réseau à neutre isolé prend tout son intérêt si on détecte les vrais défauts d'isolement dès leur apparition ...

4ème critère : protection contre les surtensions.

Un défaut sur la HT, claquage du transformateur ou foudre sur réseau aérien, peut avoir des répercussions pour les équipements sensibles, principalement électroniques qui ont une tenue d'isolement faible.

- Pour éliminer ce risque, il est nécessaire en schéma TT d'installer au plus proche des récepteurs des parafoudres.
- En schéma IT le matériel doit pouvoir supporter la tension composée entre les phases saines et la terre après un premier défaut et un limiteur de surtension est obligatoire.
- En schéma TN, l'élévation du potentiel du point neutre BT par rapport à la terre, en cas de défaut, occasionne un risque de contact indirect dangereux entre masses et terre.

5ème critère : compatibilité électromagnétique (CEM).

Le schéma TN-C est déconseillé en présence d'harmoniques. Les harmoniques de rang 3 et multiples de 3, provoquent une perte d'équipotentialité du PEN et des rayonnements électromagnétiques dans les chemins de câbles et dans les structures métalliques des bâtiments.

d'après cet extrait, noter les SLT (+ / -) en fonction des critères ci dessous :

	TT	TN-S	TN-C	IT 1er défaut	IT 2ème défaut
Protection des personnes contre un contact direct					
Protection des personnes contre un contact indirect					
Type de protection nécessaire					
Recherche des défauts					
Continuité d'alimentation					
Facilité d'extension					
Protection contre les risques d'incendie électrique					
Type de protection nécessaire					
Protection contre les surtensions					
Type de protection nécessaire					
Immunité CEM					