

Les schémas de liaison à la terre TN

1. Problématique (bis)

La chute de la foudre sur les parties aériennes du réseau de distribution publique crée un danger potentiel pour les utilisateurs d'appareils électriques. Une liaison à la terre du réseau **BT** permet d'évacuer les surtensions ainsi créées et réduit les risques d'accidents électriques.

Les schémas étudiés dans la suite de ce cours seront simplifiés afin qu'on puisse se concentrer sur l'aspect protection des personnes et des biens qui est à l'origine des schémas de liaison à la terre.

2. Définitions

*Les schémas de liaison à la terre **TN** voient le neutre du secondaire du transformateur de distribution relié à la Terre, les masses métalliques des récepteurs sont reliées au Neutre. Il existe deux variantes du schéma TN :*

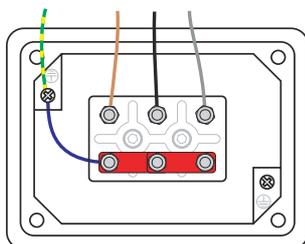
- *le TN-S (conducteur neutre et conducteur de protection équipotentielle **S**éparés),*
- *le TN-C (conducteur neutre et conducteur de protection équipotentielle **C**onfondus).*

Les schémas TN sont aussi dits « mise au neutre ».

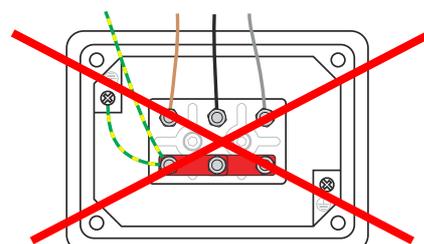
3. Point sur la norme

Le schéma TN-S s'applique obligatoirement pour des sections de conducteurs strictement inférieures à 10 mm² pour des conducteurs en cuivre et strictement inférieures à 16 mm² pour des conducteurs en aluminium. Si les sections sont supérieures ou égales à ces valeurs, les deux variantes sont utilisables.

En schéma TN-C, la fonction Protection Equipotentielle prime sur la fonction Neutre du conducteur PEN. Il est donc obligatoire de raccorder le conducteur PEN sur la masse métallique des récepteurs puis d'effectuer le raccordement au neutre à partir de cette connexion. Il est interdit de raccorder le conducteur PEN au neutre du récepteur, puis de repiquer vers la masse métallique.



La fonction Protection Equipotentielle prime, conforme NF C 15-100

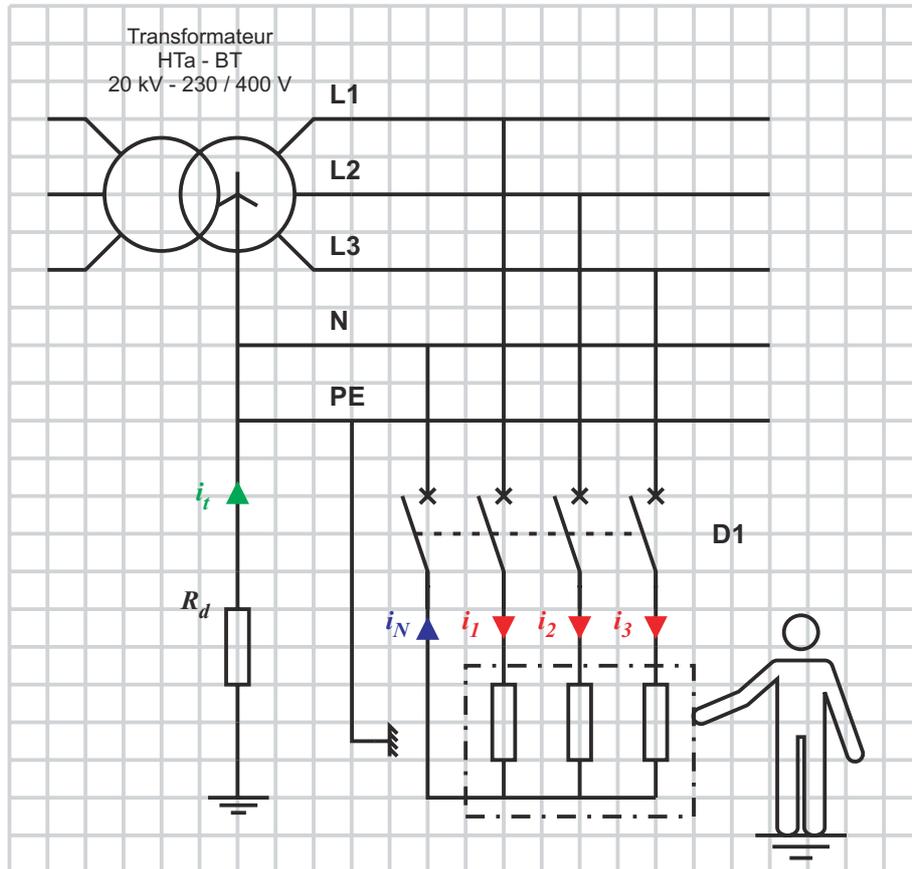


La fonction Neutre prime, non conforme NF C 15-100

4. Etude du schéma TN-S en fonctionnement normal

Le schéma TN-S voit les conducteurs de neutre et de protection équipotentielle séparés. Il n'y a pas de limitation relative aux sections de câblage.

Complétez le schéma ci-dessous en fonction des définitions précédentes en faisant figurer la résistance de prise de terre du distributeur R_d et les courants i_1 , i_2 , i_3 , i_N et i_t respectivement les courants dans les phases **L1**, **L2**, **L3**, le neutre et la terre.



Ecrire les équations qui lient les courants ci-dessus en fonctionnement normal.

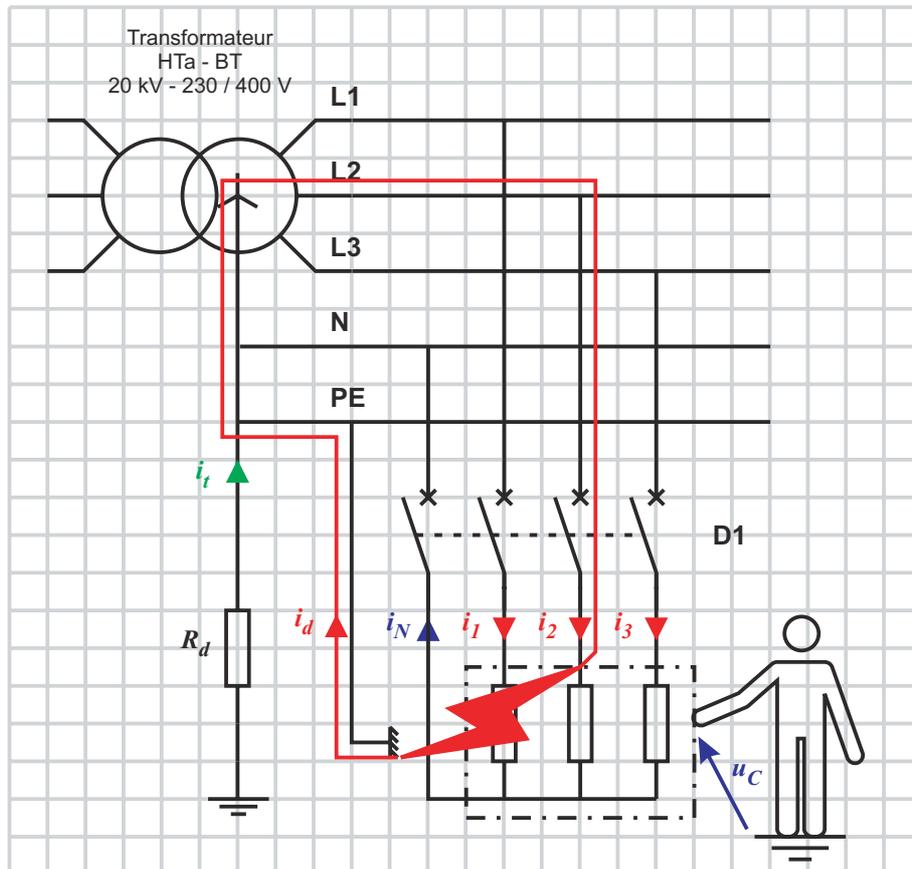
Les équations liant les courants en fonctionnement normal sont :

$$i_1 + i_2 + i_3 = i_N \quad i_t = 0$$

La charge est ici prise dans le cas général et dispose d'un raccordement au neutre. Tous les schémas peuvent être étudiés de cette façon, il ne s'agit pas d'une particularité des schémas TN.

5. Etude du schéma TN-S en cas de défaut d'isolement

Complétez le schéma ci-après en faisant figurer un défaut d'isolement entre la phase $L2$ et la masse métallique du récepteur. Faites figurer les courants i_1 , i_2 , i_3 , i_N , i_t et i_d le courant de défaut ainsi que la tension de contact u_c .



Ecrire les équations qui lient tous les courants ci-dessus dans le cas d'un défaut d'isolement.

Les équations lient les courants en cas de défaut d'isolement sont :

$$i_1 + i_2 + i_3 = i_d + i_N \quad i_t = 0$$

Que peut-on dire de la valeur du courant de défaut i_d ?

La valeur du courant de défaut i_d est très élevée car nous sommes en présence d'un court-circuit entre la phase $L2$ et le neutre.

Qu'est-ce qui limite la valeur du courant de défaut i_d en cas de défaut franc ?

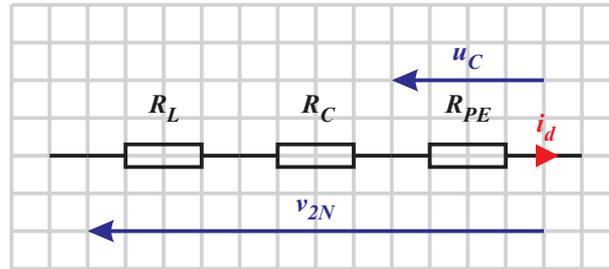
Seules les impédances des câbles limitent la valeur du courant de défaut i_d .

La valeur de courant de défaut i_d représente-t-elle un danger pour l'installation électrique ?

Ce courant de défaut est un courant de court-circuit. Sa valeur est très élevée, on risque, entre autres, des échauffements importants des conducteurs conduisant à des risques d'incendies.

Il est impératif d'éliminer rapidement ce défaut afin d'assurer la protection de l'installation.

Tracez le schéma électrique équivalent au trajet du courant de défaut i_d en faisant figurer la tension de contact u_C , les résistances du conducteur de la phase L_2 (R_L), de protection équipotentielle (R_{PE}), la résistance de contact au niveau du défaut R_C ainsi que la tension aux bornes du groupement de résistances.



Le guide UTE C 15-105 admet que la tension à l'origine du circuit est égale à 80 % de la tension nominale de l'installation pendant la durée du court-circuit. Dans cette hypothèse, donnez la formule permettant de calculer la valeur du courant de défaut i_d en cas de défaut d'isolement.

Le courant de défaut i_d a pour expression :

$$i_d = 0,8 \times \frac{v_{2N}}{R_L + R_C + R_{PE}}$$

Donnez les formules permettant de calculer la valeur de la résistance du conducteur de phase R_L et celle du conducteur de protection équipotentielle R_{PE} en fonction des longueurs des conducteurs L_L et L_{PE} , des sections des conducteurs S_L et S_{PE} et de la résistivité des conducteurs ρ .

Le calcul des résistances R_L et R_{PE} se fait avec les formules :

$$R_L = \frac{\rho \times L_L}{S_L} \quad R_{PE} = \frac{\rho \times L_{PE}}{S_{PE}}$$

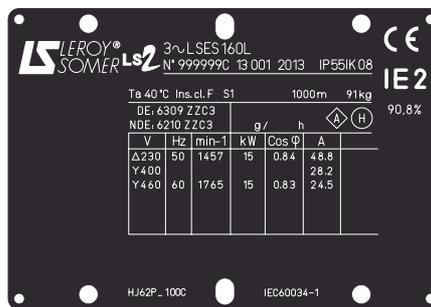
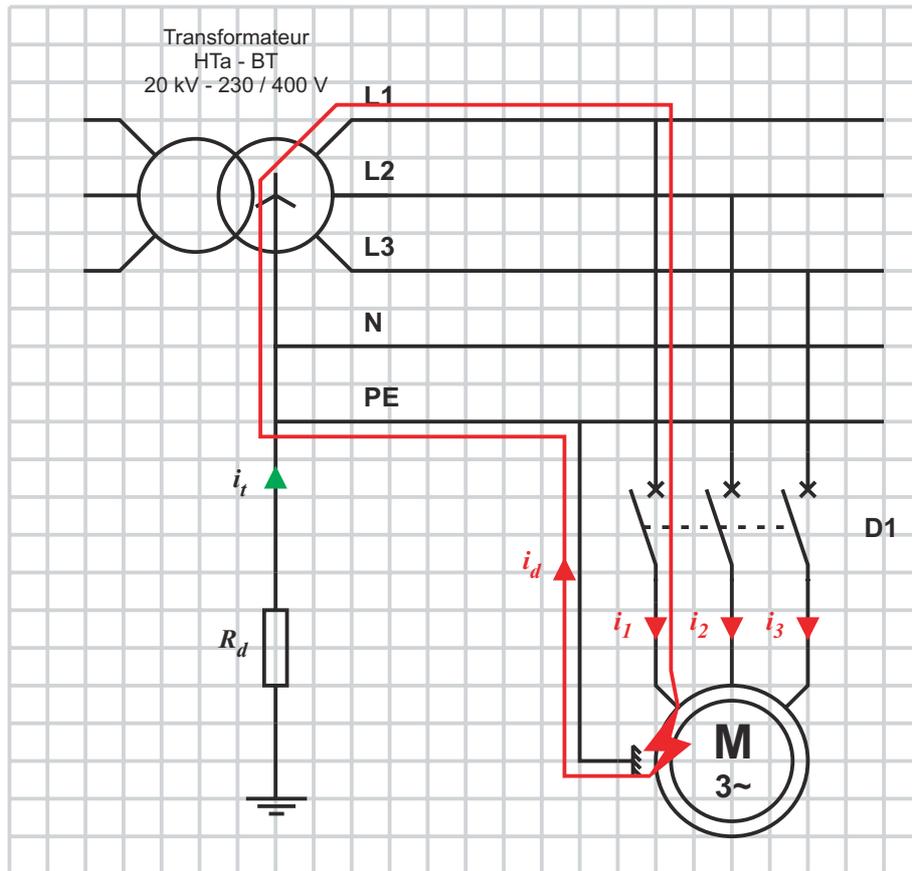
A partir du document « la protection contre les contacts indirects » de Legrand dans votre documentation ressource, donnez le temps de coupure maximum normalisé permettant d'assurer la protection des utilisateurs et de l'installation.

Le temps maximum de coupure pour assurer la protection des utilisateurs et de l'installation en schéma TN est de 0,2 seconde pour un circuit alimenté sous une tension d'alimentation U_0 dans la plage 230 V non compris et 400 V compris ($230 \text{ V} < U_0 \leq 400 \text{ V}$).

Il convient de vérifier à l'aide de la courbe de déclenchement des protections contre les courts-circuits (fusibles ou déclencheur magnétique des disjoncteurs) que le temps de déclenchement est inférieur à cette valeur pour un courant de court-circuit égal à i_d tel que celui déterminé à partir de la formule ci-dessus.

6. Application numérique schéma TN-S

Nous allons étudier le schéma suivant qui représente une partie de la motorisation d'un monte-charge équipant l'un des ateliers de la SPCC. Le schéma de puissance et la plaque signalétique du moteur sont repris ci-après. L'ensemble est alimenté sur un réseau 230 / 400 V. Nous allons considérer un défaut d'isolement entre la phase L_1 et la masse métallique du moteur. Tracez le trajet du courant de défaut i_d .



Plaque signalétique du moteur (© Leroy Somer).

Le câble qui relie le moteur à l'armoire de commande est de type **U-1000 R2V 4G2,5** et mesure 25 m. La résistance de prise de terre R_d est de $4,5 \Omega$. Calculez la valeur du courant de défaut i_d en supposant que ce dernier se fasse au bout du câble entre la phase **L1** et la masse métallique du moteur. Nous prendrons les valeurs de résistivité $\rho_{\text{cuivre}} = 23 \times 10^{-3} \Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$ et $\rho_{\text{aluminium}} = 37 \times 10^{-3} \Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$ conformément aux valeurs recommandées par la **NF C 15-100** (1,25 fois la résistivité à 20°C , document ressource « vérification des chutes de tension » de Legrand). Le défaut sera considéré comme un défaut franc.

$$R_L = \frac{\rho_{\text{cuivre}} \times L_L}{S_L} \quad R_L = \frac{23 \times 10^{-3} \times 25}{2,5} \quad R_L = 0,23$$

$$R_{PE} = \frac{\rho_{\text{cuivre}} \times L_{PE}}{S_{PE}} \quad R_{PE} = \frac{23 \times 10^{-3} \times 25}{2,5} \quad R_{PE} = 0,23$$

Les valeurs des résistances du conducteur de phase R_L et de protection équipotentielle R_{PE} sont de $0,23 \Omega$ (longueur et section identiques).

$$i_d = 0,8 \times \frac{V_{IN}}{R_L + R_C + R_{PE}} \quad i_d = 0,8 \times \frac{230}{0,23 + 0 + 0,23} \quad i_d = 400$$

La valeur du courant de défaut i_d est de 400 A.

La protection du moteur est assurée par le disjoncteur moteur **DI** référence **GV2 ME32** de Schneider Electric. Donnez le courant de réglage du disjoncteur I_r .

*Le réglage du courant du disjoncteur **DI** doit s'effectuer au courant nominal du moteur soit à 28,2 A dans notre cas (moteur alimenté sous 400 V).*

Donnez le temps nécessaire à ce disjoncteur pour assurer la mise hors tension du circuit lors de ce défaut d'isolement.

Le courant de défaut est de l'ordre de 14,2 fois le courant de réglage I_r du disjoncteur (400 / 28,2). D'après la courbe de déclenchement le temps d'élimination du défaut sera de l'ordre de 0,01 seconde.

Le disjoncteur **DI** est-il capable d'assurer la protection des utilisateurs et de l'installation ? Justifiez votre réponse.

*Le disjoncteur **DI** élimine le court-circuit en un temps de 0,01 seconde. La norme NF C 15-100 impose un temps d'élimination du défaut inférieur à 0,2 seconde pour assurer la protection des utilisateurs et de l'installation. La protection des utilisateurs est donc garantie pour ce défaut et avec ce disjoncteur.*

Menez le même raisonnement pour un câble type **U-1000 R2V 4G2,5** de 40 m (i_d , u_C , temps de déclenchement). Concluez sur la protection des utilisateurs et de l'installation.

$$R_L = R_{PE} = \frac{\rho_{cuivre} \times L_L}{S_L} \quad R_L = R_{PE} = \frac{23 \times 10^{-3} \times 40}{2,5} \quad R_L = R_{PE} = 0,368$$

La valeur de la résistance des conducteurs de phase et de protection équipotentielle est de 0,368 Ω .

$$i_d = 0,8 \times \frac{V_{IN}}{R_L + R_C + R_{PE}} \quad i_d = 0,8 \times \frac{230}{0,368 + 0 + 0,368} \quad i_d = 250$$

Le courant de défaut i_d est de 250 A soit de l'ordre de 8,9 fois le courant de réglage du disjoncteur (250 / 28,2). D'après la courbe de déclenchement du disjoncteur, le temps de coupure sera supérieur à 1 seconde.

*La norme NF C 15-100 impose un temps de coupure inférieur à 0,2 seconde en schéma TN pour une tension d'alimentation de 230 à 400 V. La sécurité des utilisateurs et de l'installation ne sont plus assurées car le déclencheur thermique du disjoncteur **DI** n'élimine pas assez rapidement le défaut.*

Proposez deux solutions pour remédier à ceci.

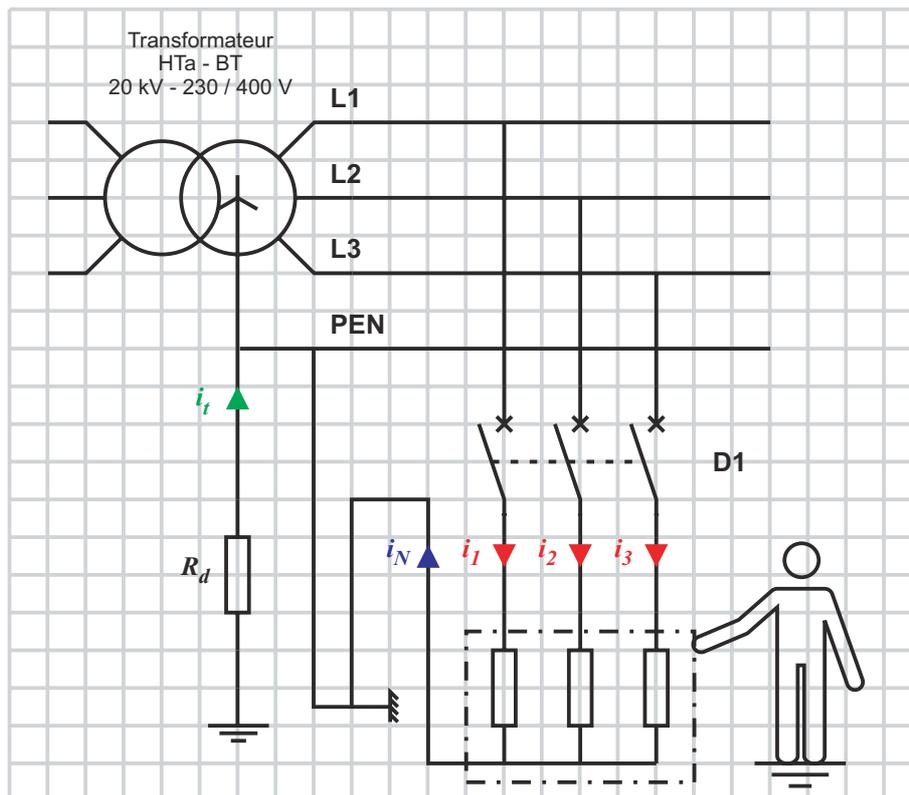
- Augmenter la section des conducteurs afin d'augmenter le courant de défaut,
- Installer un dispositif différentiel résiduel en association avec le disjoncteur qui détectera le défaut.

Quelle est la condition qui permet de garantir que la protection des utilisateurs et de l'installation soit assurée avec un disjoncteur magnétothermique (sans dispositif différentiel résiduel) ?

La condition qui permet de garantir la protection des utilisateurs et de l'installation à l'aide d'un disjoncteur magnétothermique est que le courant de défaut i_d soit supérieur au courant de déclenchement du déclencheur magnétique du disjoncteur.

7. Etude du schéma TN-C en fonctionnement normal

Complétez le schéma ci-après en fonction de la définition faite au paragraphe 2. Faire figurer les courants i_1 , i_2 , i_3 et i_t respectivement les courants dans les phases $L1$, $L2$, $L3$ et la terre.



Ecrire les équations qui lient les courants ci-dessus en fonctionnement normal.

Les équations liant les courants en fonctionnement normal sont :

$$i_1 + i_2 + i_3 = i_N \qquad i_t = 0$$

8. Etude du schéma TN-C en cas de défaut d'isolement

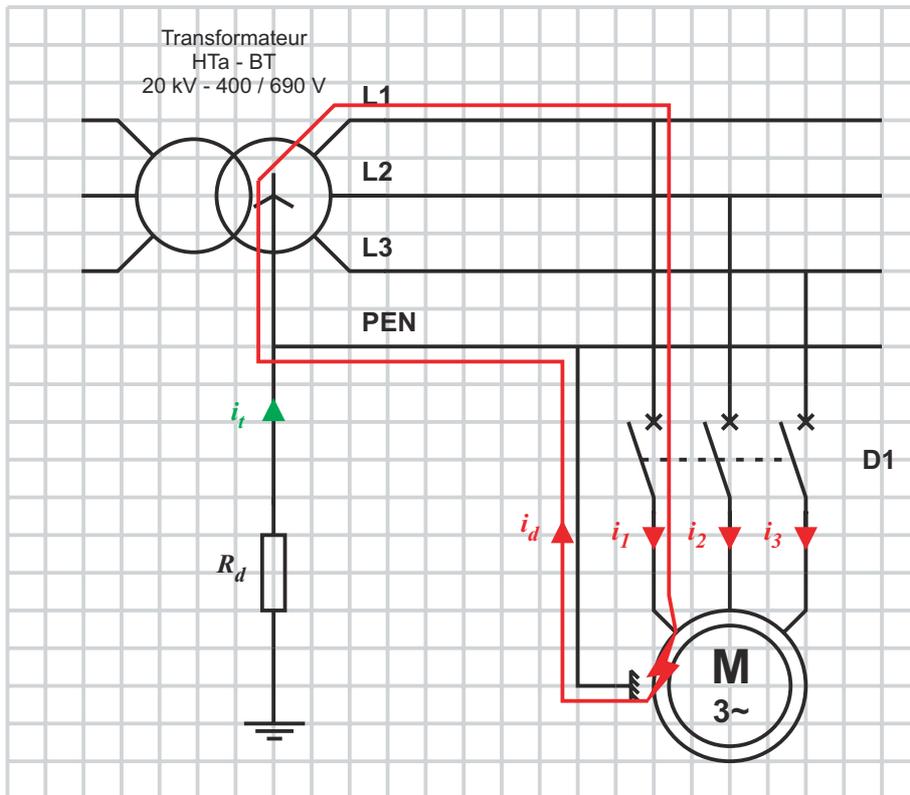
Il n'y a pas de différence fondamentale entre les schémas TN-C et TN-S hormis l'utilisation d'un unique conducteur qui fait office de conducteur de protection équipotentielle et de conducteur de neutre.

Comme dans le cas du schéma TN-S, le défaut d'isolement se traduit par un court-circuit entre phase et neutre. Le courant de défaut, très élevé, doit être rapidement coupé afin de ne pas détruire l'installation en raison des risques d'incendies.

9. Application numérique schéma TN-C

L'étude qui suit porte sur la motorisation d'un concasseur. Le concasseur est utilisé dans l'industrie cimentière afin de broyer les pierres qui sont à la base de la fabrication du ciment. Après cette phase de concassage, il y aura des phases de broyage de plus en plus fin jusqu'à obtenir une « poussière ». Celle-ci va être portée à haute température en respectant différentes phases de « cuisson » afin d'obtenir le ciment utilisé dans le bâtiment. Nous allons étudier un défaut d'isolement entre la phase **L1** et la masse métallique du moteur du concasseur.

Complétez le schéma suivant en faisant apparaître le défaut précédemment mentionné.



La plaque signalétique du moteur du concasseur est reprise ci-dessous.

LS LEROY SOMER		MOT. 3~ FLSES 355LB 4 B3				CE	
N° 99999999BA01		2013	IG05	kg			
DE 6322C3	60 g	8316 h	IP 55	1000 m			
NDE 6316C3	33 g	8316 h	IK 08				
°C		Icl.	S	%	d/h SF		IE 2
V	Hz	min-1	kW	A	Cos φ	95.9%	
Δ 400	50	1488	315	546	0.87		
λ 690				315			
POLYREX EM103				2/4=94.8		3/4=95.4	
TPIIIB							
IEC 60034-1 MADE IN FRANCE							

Plaque signalétique du moteur du concasseur (© Leroy Somer).

Le moteur est alimenté par un réseau 400 / 690 V. Le câblage est réalisé à partir de câbles unipolaires en aluminium, d'une section S_L de 150 mm² pour les phases et 95 mm² pour le câble de PEN (S_{PEN}). La longueur des câbles qui alimentent le moteur est de 40 m.

Calculez le courant de défaut i_d .

$$R_L = \frac{\rho_{\text{aluminium}} \times L_L}{S_L} \quad R_L = \frac{37 \times 10^{-3} \times 40}{150} \quad R_L \approx 0,00987$$

$$R_{PEN} = \frac{\rho_{\text{aluminium}} \times L_{PE}}{S_{PEN}} \quad R_{PEN} = \frac{37 \times 10^{-3} \times 40}{95} \quad R_{PEN} \approx 0,0156$$

$$i_d = 0,8 \times \frac{v_{IN}}{R_L + R_C + R_{PE}} \quad i_d = 0,8 \times \frac{400}{0,00987 + 0 + 0,0156} \quad i_d \approx 12\,600$$

La valeur du courant de défaut i_d est de l'ordre de 12 600 A.

Choisir une référence de disjoncteur type **DPX 630** à déclencheur magnétothermique de Legrand pour assurer la protection du départ de ce moteur.

Nous prendrons un disjoncteur tripolaire réf. 0 255 22 (courant nominal 320 A, pouvoir de coupure 36 kA). Le courant de déclenchement du déclencheur magnétique sera à régler au-dessus du rapport courant de démarrage / courant nominal du moteur (ici $I_d / I_n = 8,0$ soit environ 2520 A). Le courant du déclencheur thermique sera réglé au courant nominal du moteur soit $315 / 320 = 0,98$.

Donnez le temps nécessaire au disjoncteur pour assurer la mise hors tension du circuit lors de ce défaut d'isolement. La sécurité des utilisateurs est-elle assurée ?

Le courant de défaut est de l'ordre de 40 fois le courant de réglage du déclencheur thermique du disjoncteur (12 600 / 315). D'après la courbe de déclenchement du disjoncteur, le temps de coupure sera de l'ordre de 0,01 seconde. Le temps maximal de coupure étant de 0,1 seconde pour une tension d'alimentation entre phases U_0 de 690 V, la sécurité des utilisateurs et de l'installation sont donc assurées.

10. Défaut d'isolement entre phases en schémas TN-C et TN-S

Le défaut d'isolement le plus fréquent est celui entre phase et neutre. Toutefois, il peut arriver qu'il y ait un double défaut d'isolement conduisant à un court-circuit entre phases (probabilité infime). La démarche est alors identique, la tension à prendre en compte dans le calcul du courant de défaut i_d est la tension composée et non plus la tension simple.

11. Particularités des schémas TN

- Le conducteur de protection équipotentielle, comme dans tous les autres schémas de liaison à la terre, ne doit jamais être coupé, en particulier en TN-C où les conducteurs de neutre et de protection équipotentielle sont confondus,*

- Les schémas TN-C et TN-S peuvent être utilisés simultanément dans une même installation. Le TN-C doit alors obligatoirement être en amont du TN-S,
- La condition pour garantir qu'un disjoncteur non différentiel déclenchera en cas de défaut d'isolement et assurera la protection des utilisateurs et de l'installation est que la longueur maximale du câble en amont de ce dernier L_{MAX} en mètres vérifie :

$$L_{MAX} \leq \frac{0,8 \times V \times S_L}{\rho \left(I + \frac{S_L}{S_{PE}} \right) I_{magn}}$$

V : tension simple en volts,

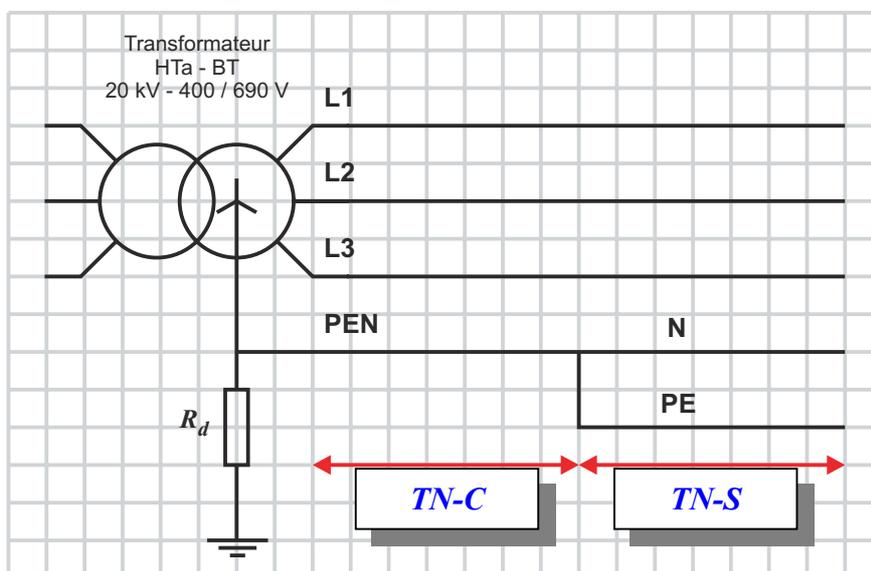
S_L, S_{PE} : section des conducteurs de phase et de protection équipotentielle en mm^2 ,

ρ : résistivité du matériau constituant l'âme des conducteurs en $\Omega \cdot mm^2 / m$,

I_{magn} : courant de déclenchement du déclencheur magnétique du disjoncteur.

- Le schéma TN-C est incompatible avec l'emploi de dispositifs différentiels résiduels car le conducteur de protection équipotentielle est confondu avec le neutre,
- Dans les emplacements à risque d'explosion, le schéma TN-C est interdit.

Complétez la figure suivante en indiquant où se situent les variantes du schéma TN.



12. Recherche du défaut d'isolement

Comme pour le schéma TT, la recherche des défauts d'isolement se fait en questionnant les utilisateurs des appareils alimentés par le départ qui est déclenché (odeur bizarre avant le déclenchement, échauffement anormal, etc.). Si aucune indication ne permet de trouver l'appareil en cause, vérifier l'isolement de chaque appareil sur le départ en ayant soin de l'isoler du réseau avant vérification.