

Le schéma de liaison à la terre IT

1. Problématique

Les schémas TT et TN imposent la mise hors tension rapide et automatique lors d'un défaut d'isolement afin de garantir la sécurité des utilisateurs et / ou de l'installation. Dans certaines situations, cette mise hors tension n'est pas possible (exemples : bloc opératoire, équipements de sécurité...), il faut alors faire en sorte de limiter le courant de défaut à une valeur sans danger pour l'installation et la tension de contact à une valeur compatible avec la tension limite de sécurité.

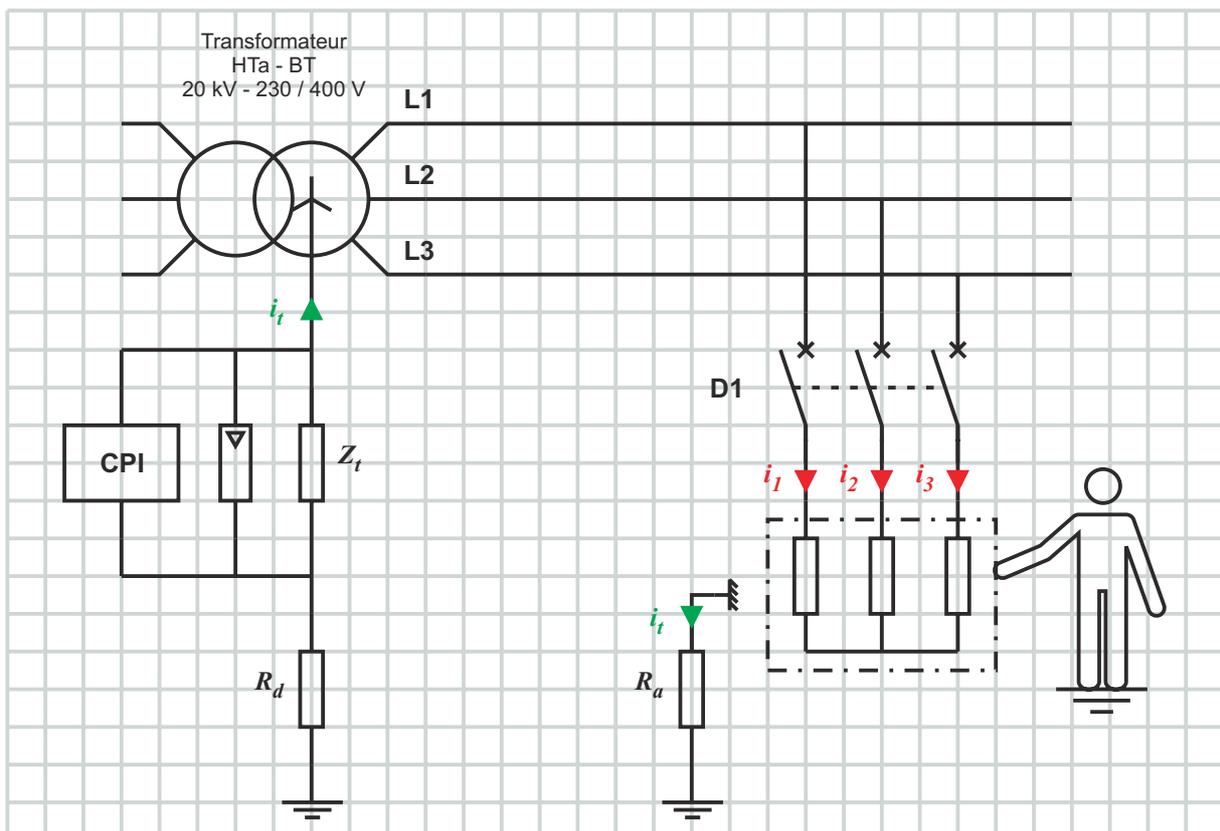
2. Définition

Le schéma de liaison à la terre IT voit le neutre du secondaire du transformateur de distribution relié à la terre au travers d'une Impédance, les masses métalliques des récepteurs sont reliées à la Terre.

Le schéma IT est aussi dit « neutre impédant » ou « neutre isolé ».

3. Etude du schéma IT en fonctionnement normal

Complétez le schéma ci-dessous conformément à la définition précédente. Faites figurer les résistances des prises de terre distributeur R_d et abonné R_a ainsi que l'impédance Z_t reliant le neutre du transformateur à la terre. Un CPI (Contrôleur Permanent d'Isolément) et un dispositif limiteur de surtension seront ajoutés conformément à la norme NF C 15-100. Faites également figurer les courants i_1 , i_2 , i_3 et i_t respectivement les courants dans les phases L1, L2, L3 et la terre.



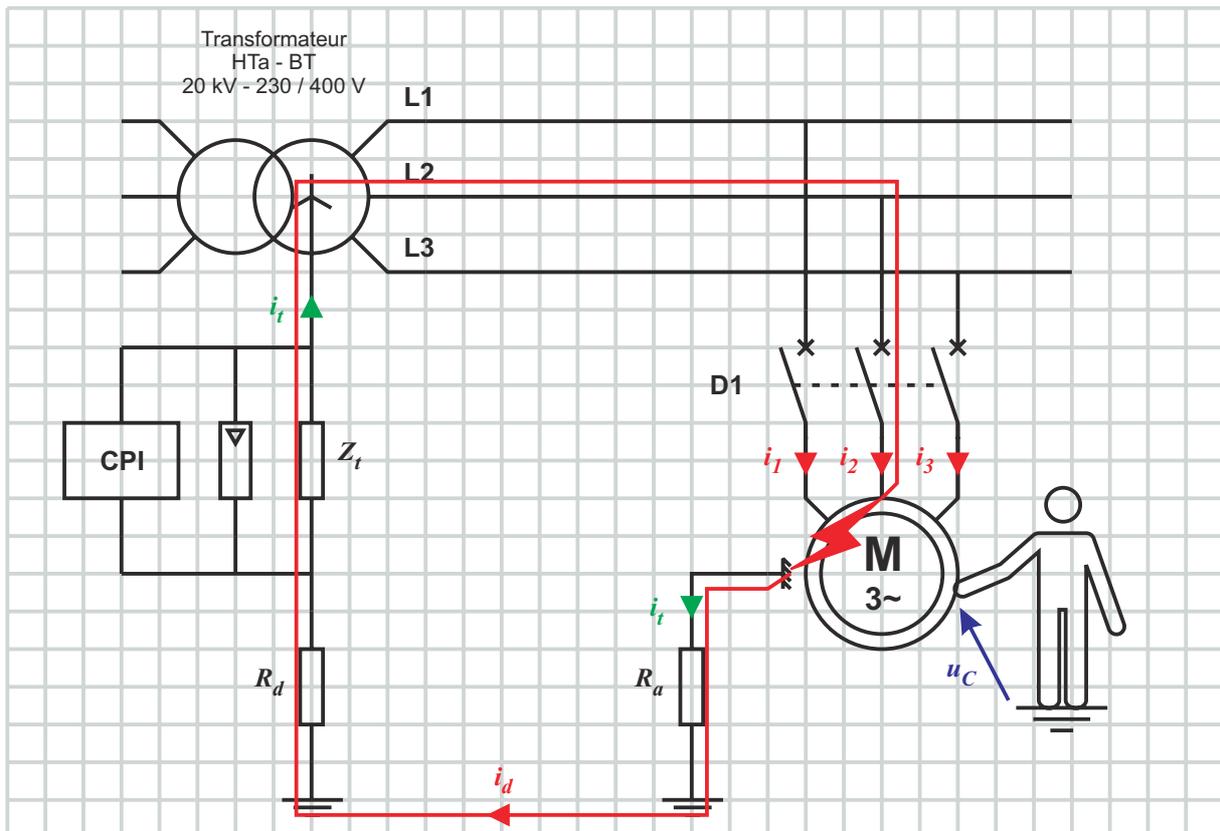
Ecrire les équations qui lient les courants sur le schéma précédent dans le cas d'un fonctionnement normal.

En fonctionnement normal les équations lient les courants sont :

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

4. Etude du schéma IT en cas de défaut d'isolement

Complétez le schéma ci-dessous en faisant figurer un défaut d'isolement entre la phase **L2** et la masse métallique du moteur. Faites figurer les courants i_1 , i_2 , i_3 , i_t et i_d respectivement les courants dans les phases, la terre, le courant de défaut ainsi que la tension de contact u_C .



Ecrire les équations liant les courants de l'illustration précédente (défaut d'isolement).

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

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

Quels sont les éléments qui limitent la valeur du courant de défaut i_d ?

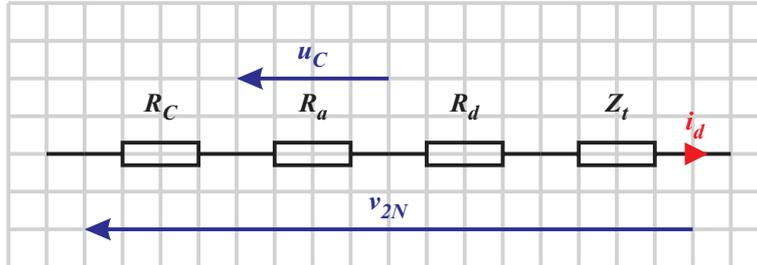
Les résistances des prises de terre R_a et R_b , la résistance de contact au niveau du défaut R_c et l'impédance Z_t limitent la valeur du courant de défaut i_d .

Comment faire pour limiter le courant de défaut i_d à une valeur faible ?

La loi d'Ohm nous indique qu'il faut augmenter l'impédance de la boucle de défaut pour diminuer le courant de défaut i_d . Les valeurs des résistances des prises de terre doivent être les plus faibles possible afin d'évacuer efficacement les surtensions d'origine atmosphérique (foudre). La seule impédance sur laquelle on peut influencer est l'impédance de

mise à la terre Z_t , qui doit être élevée pour diminuer le courant de défaut i_d .

Tracez ci-dessous le schéma électrique équivalent au trajet du courant de défaut i_d en faisant figurer la tension de contact u_C , les résistances R_d , R_a , R_C , l'impédance Z_t et la tension aux bornes de ce groupement.



Que devient la tension de contact u_C lorsque le courant de défaut i_d est faible ?

La tension de contact u_C est d'autant plus faible que le courant de défaut i_d est plus faible (d'après la loi d'Ohm nous avons $u_C = R_a \times i_d$).

Le schéma IT impose :

- *Un service d'entretien électrique compétent doit être obligatoirement présent sur le site pour la recherche et l'élimination des défauts d'isolement,*
- *Un Contrôleur Permanent d'Isolement doit actionner un signal sonore et / ou un signal visuel afin de prévenir de la présence d'un défaut d'isolement.*

En schéma IT, la norme NF C 15-100 recommande de ne pas distribuer le conducteur neutre. S'il est distribué, le neutre doit comporter une détection des surintensités.

5. Application numérique

Nous allons étudier le schéma de l'alimentation électrique d'une salle d'opérations chirurgicales. Dans cet environnement on ne peut pas se permettre une coupure de courant pour des raisons évidentes liées à la sécurité du patient en cours d'opération.

Le schéma étudié est identique à celui du paragraphe précédent, le récepteur est l'un des instruments utilisés en chirurgie.

Le CPI est un TR22AH, le limiteur de surtension est un Cardew C, l'impédance Z_t est composée d'une **impédance de limitation ZX**, le tout est de marque Schneider Electric.

Relevez la valeur de l'impédance Z_t de limitation du courant de défaut à 50 Hz.

L'impédance Z_t a une valeur de 1500 Ω (platine ZX).

Pour des valeurs de résistances de prises de terre $R_d = 4,5 \Omega$ et $R_a = 50 \Omega$, calculez la valeur du courant de défaut i_d circulant en cas de défaut franc entre la phase L2 et la masse métallique d'un des récepteurs alimentés par ce départ. Le défaut est franc ($R_C = 0$).

$$i_d = \frac{v_{2N}}{R_C + R_a + R_d + Z_t} \quad i_d = \frac{230}{0 + 50 + 4,5 + 1500} \quad i_d \approx 0,148$$

Le courant de défaut i_d est de 0,148 A soit 148 mA.

Ce courant de défaut représente-t-il un danger pour l'installation ? Justifiez.

Ce courant de défaut ne représente aucun danger pour l'installation car il est très faible devant les courants parcourant habituellement les installations.

Calculez la valeur de la tension de contact u_C . Est-elle dangereuse ? Justifiez.

$$u_C = R_a \times i_d \quad u_C = 50 \times 0,148 \quad u_C = 7,4$$

La tension de contact u_C est de 7,4 V. Elle n'est pas dangereuse car inférieure à la tension limite de sécurité U_L de 50 Vac.

Est-il nécessaire de couper le courant ? Justifiez votre réponse.

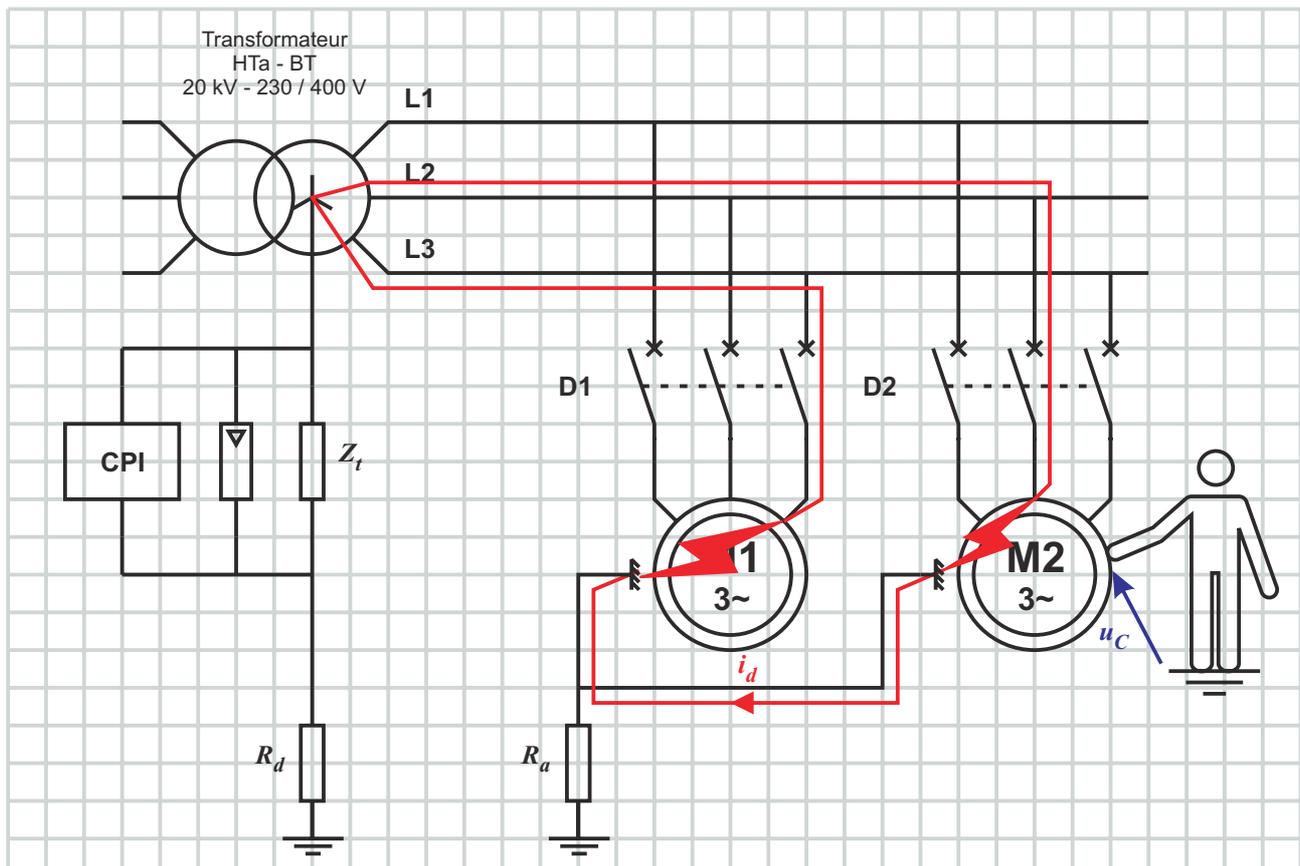
Il n'y a pas de danger pour l'installation, pas de danger pour l'utilisateur, il n'est donc pas nécessaire de couper le courant.

Un défaut d'isolement dans un schéma IT est sans conséquences, ni pour le matériel, ni pour l'utilisateur. Pourquoi vouloir éliminer ce défaut ?

6. Etude du schéma IT en cas de double défaut d'isolement

Nous allons considérer le cas où un second défaut d'isolement apparaît sur un second récepteur et sur une des autres phases alors que le premier défaut n'est pas éliminé.

Complétez le schéma ci-dessous en faisant figurer un défaut d'isolement entre la phase $L3$ et la masse métallique du moteur $M1$, un second défaut d'isolement entre la phase $L2$ et la masse métallique du moteur $M2$. Faites figurer le courant de défaut i_d résultant du double défaut d'isolement au niveau des moteurs $M1$ et $M2$ ainsi que la tension de contact u_C .



Que pouvons-nous dire du courant de défaut i_d suite à l'apparition du second défaut ?

Dans le cas d'un double défaut d'isolement sur des phases différentes, nous sommes en présence d'un court-circuit entre phases.

Faut-il couper le courant dans le cas du double défaut d'isolement ?

En cas de double défaut d'isolement, il y a risque d'incendie (courant de court-circuit élevé). L'élimination d'un des défauts d'isolement est donc impérative.

La tension de contact u_c ne sera pas calculée car, de toute façon, il faut obligatoirement éliminer l'un des défauts d'isolement en raison des risques d'incendie dus au court-circuit.

La condition pour garantir qu'un disjoncteur magnétothermique déclenche en cas de double défaut d'isolement et qu'il assure la protection des utilisateurs est que la longueur maximale du câble L_{MAX} en mètres vérifie l'équation suivante :

$$L_{MAX} \leq \frac{0,8 \times U \times S_L}{\rho \left(1 + \frac{S_L}{S_{PE}} \right) I_{magn}}$$

U : tension composée en volts,

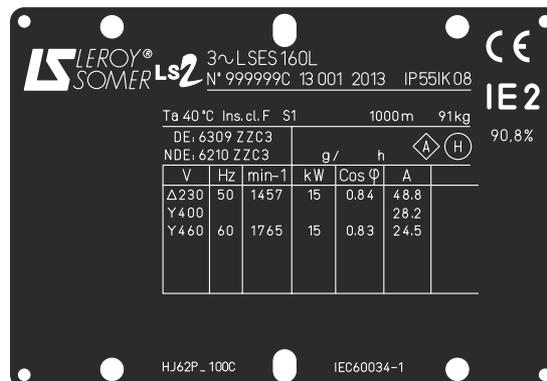
S_L, S_{PE} : section des conducteurs de phase et de protection équipotentielle en mm^2 ,

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.

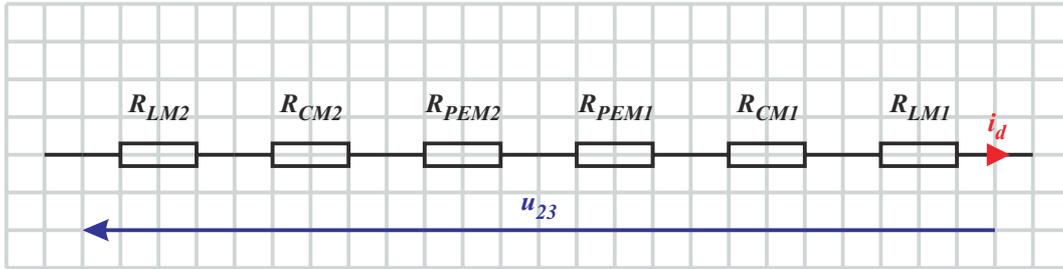
7. Application numérique du double défaut d'isolement

Soit une installation électrique alimentant, entre autres, des convoyeurs de marchandises. Nous allons étudier le double défaut d'isolement intervenant sur deux des moteurs de convoyeurs comme sur l'illustration précédente. Les moteurs sont identiques, leur plaque signalétique est reprise ci-dessous. Le premier moteur est alimenté par un câble **U-1000 R2V 4G2,5** de 20 m de long, le second est alimenté par un câble **U-1000 R2V 4G4** de 50 m. Afin de simplifier l'étude, les impédances en amont seront considérées comme négligeables. La protection des moteurs est assurée par des disjoncteurs référence **GV2 ME32** de chez Schneider Electric.



Plaque signalétique des moteurs (© Leroy Somer).

Tracez ci-après le schéma équivalent à la boucle de défaut parcourue par le courant dû au double défaut d'isolement. Indiquez le courant de défaut i_d , les résistances de contact des défauts R_{CM1}, R_{CM2} (résistances de contact au niveau des défauts d'isolement sur les moteurs $M1$ et $M2$), les résistances des conducteurs de phase R_{LM1}, R_{LM2} (résistances des conducteurs de phase alimentant les moteurs $M1$ et $M2$), les résistances des conducteurs de protection équipotentielle R_{PEM1}, R_{PEM2} ainsi que la tension aux bornes de l'ensemble.



Calculez la valeur du courant de défaut i_d en considérant des défauts francs. La norme NF C 15-100 indique qu'en cas de court-circuit franc, la tension chute de 20 % par rapport à la tension nominale (pour mémoire : $\rho_{\text{cuivre}} = 23 \times 10^{-3} \Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$, $\rho_{\text{aluminium}} = 37 \times 10^{-3} \Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$).

$$R_{PEM1} = R_{LM1} = \frac{\rho_{\text{cuivre}} \times L_{LM1}}{S_{LM1}} \quad R_{LM1} = \frac{23 \times 10^{-3} \times 20}{2,5} \quad R_{LM1} = 0,184$$

$$R_{PEM2} = R_{LM2} = \frac{\rho_{\text{cuivre}} \times L_{LM2}}{S_{LM2}} \quad R_{LM2} = \frac{23 \times 10^{-3} \times 50}{4} \quad R_{LM2} \approx 0,288$$

$$i_d = 0,8 \times \frac{u_{23}}{R_{LM1} + R_{CM1} + R_{PEM1} + R_{PEM2} + R_{CM2} + R_{LM2}}$$

$$i_d = 0,8 \times \frac{400}{0,184 + 0 + 0,184 + 0,288 + 0 + 0,288} \quad i_d \approx 339$$

La valeur du courant de défaut i_d est de 339 A.

La sécurité des utilisateurs et de l'installation sont-elles garanties ?

Comme pour le schéma TN, le courant de défaut en cas de double défaut d'isolement est un courant de court-circuit. La condition pour assurer la protection de l'installation est un temps de coupure maximum inférieur à 0,2 s (tension nominale d'alimentation U_0 de 400 V). Le courant de défaut est ici de l'ordre de 12 fois le courant nominal du disjoncteur (339 / 28,2), le temps de coupure sera de l'ordre de 3 secondes. La sécurité de l'installation et celle des utilisateurs ne sont pas garanties, il faut donc isoler rapidement et automatiquement l'un des départs en défaut.

Proposer deux solutions pour assurer la sécurité de l'installation et des utilisateurs.

Pour assurer la sécurité de l'installation et des utilisateurs nous pouvons :

- Augmenter la section des câbles,
- Mettre un dispositif différentiel résiduel.

Essayez en augmentant la section des conducteurs progressivement.

$$R_{PEM1} = R_{LM1} = \frac{\rho_{\text{cuivre}} \times L_{LM1}}{S_{LM1}} \quad R_{LM1} = \frac{23 \times 10^{-3} \times 20}{4} \quad R_{LM1} = 0,115$$

$$R_{PEM2} = R_{LM2} = \frac{\rho_{\text{cuivre}} \times L_{LM2}}{S_{LM2}} \quad R_{LM2} = \frac{23 \times 10^{-3} \times 50}{6} \quad R_{LM2} \approx 0,192$$

$$i_d = 0,8 \times \frac{u_{23}}{R_{LMI} + R_{CMI} + R_{PEM1} + R_{PEM2} + R_{CM2} + R_{LM2}}$$

$$i_d = 0,8 \times \frac{400}{0,115 + 0 + 0,115 + 0,192 + 0 + 0,192} \quad i_d \approx 521$$

La valeur du courant de défaut i_d est de 521 A soit environ 18,5 fois le courant nominal du disjoncteur moteur (521 / 28,2). Le temps de coupure est de l'ordre de 10 ms car c'est le déclencheur magnétique qui entre en compte pour cette valeur de défaut. Ce temps étant inférieur à 0,2 s, la sécurité des biens et des celle utilisateurs sont garanties.

Quels sont les critères de choix du dispositif différentiel résiduel dans le cas où on n'augmente pas la section de câblage ? Justifiez votre réponse.

Le dispositif différentiel résiduel doit couper le courant en cas de défaut double mais ne surtout pas déclencher en cas de défaut simple ($I_{\Delta n}$ supérieur au double du courant de défaut simple I_d car le dispositif différentiel résiduel peut déclencher à partir de $I_{\Delta n} / 2$). Le pouvoir de coupure doit être supérieur au courant de défaut d'isolement double soit 339 A. Un interrupteur différentiel ayant ce pouvoir de coupure serait nettement surdimensionné et par conséquent coûteux. Il est plus judicieux de remplacer le disjoncteur moteur par un disjoncteur différentiel résiduel apte à couper des courants nettement supérieurs à son calibre nominal grâce à la fonction disjoncteur.

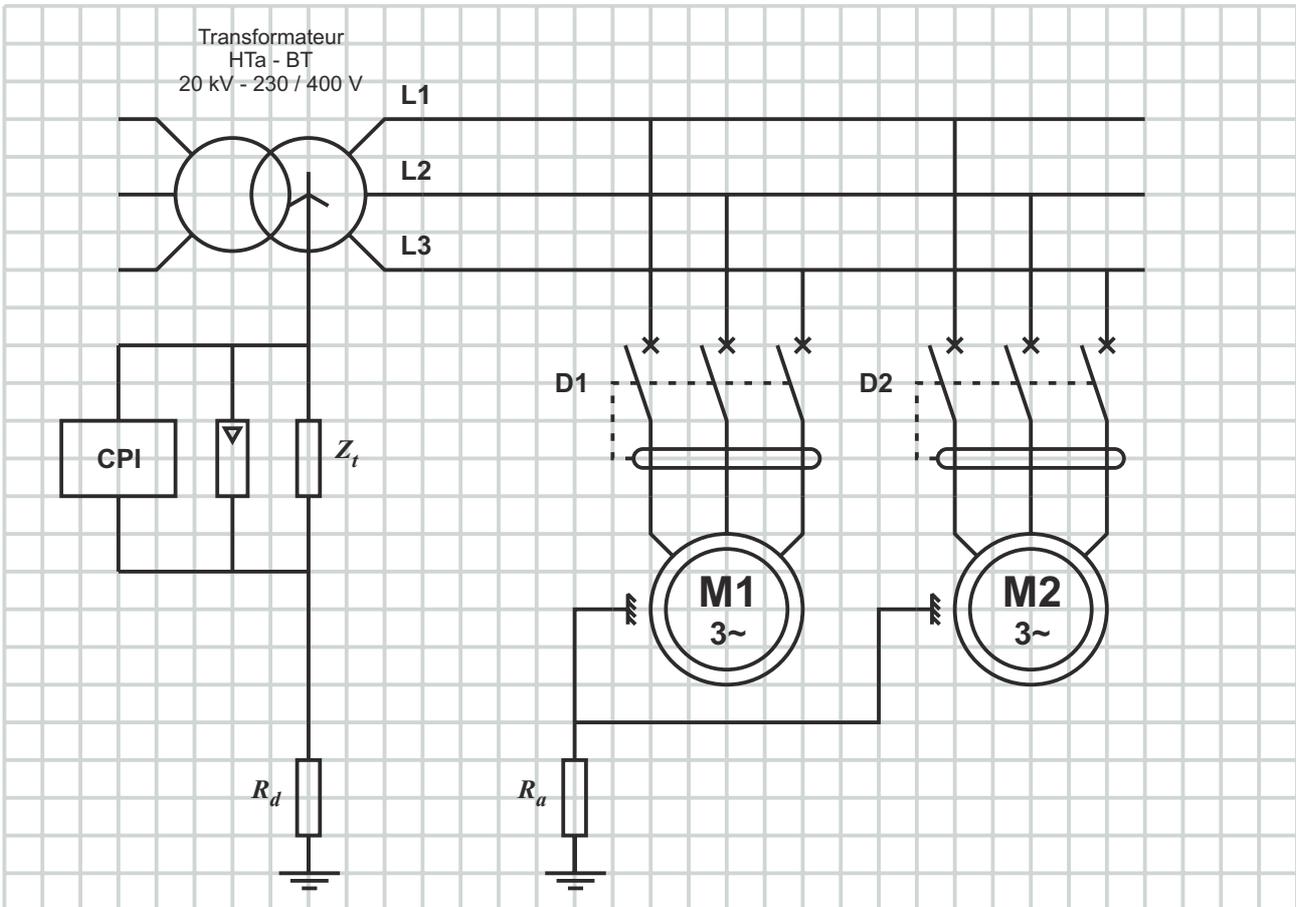
Proposez une référence de disjoncteur et de dispositif différentiel résiduel pour assurer la protection des utilisateurs et de l'installation en cas de double défaut d'isolement (matériel Legrand à raccordement par vis / vis). Justifiez votre choix.

Le dispositif différentiel résiduel ne doit pas déclencher en cas de défaut d'isolement simple. Pour cela le courant nominal de déclenchement du dispositif différentiel résiduel doit donc être au moins de $2 \times 148 \text{ mA}$ soit 296 mA (le déclenchement d'un DDR peut se faire à partir de $I_{\Delta n} / 2$, voir cours sur les dispositifs différentiels résiduels).

D'autre part, nous avons besoin d'un disjoncteur tripolaire qui permette au démarrage du moteur de se faire sans réaction du déclencheur magnétique. Le courant de démarrage étant ici de 7,4 fois son courant nominal, un disjoncteur courbe D sera adapté en raison de son déclenchement entre 10 et 14 I_n .

La référence du disjoncteur retenue peut être 4 080 62 (disjoncteur tripolaire 32 A DX 6000 pouvoir de coupure 10 kA, courbe D). Le bloc différentiel associé sera un 4 104 74 (tripolaire 400 V, 32 A, 300 mA Type AC).

Complétez le schéma de câblage des départs moteurs en intégrant des dispositifs différentiels résiduels sur les disjoncteurs.



8. Recherche de défaut d'isolement

La recherche de défaut était, jusqu'ici, relativement facile. Le courant de défaut provoquait un échauffement qui dégageait une odeur caractéristique. Ici le courant de défaut simple est très faible, l'échauffement passera inaperçu.

Il existe un système de localisation de défaut basé sur l'injection d'un courant continu ou de très faible fréquence entre le neutre et la terre au niveau du CPI. A l'aide d'une pince, il va falloir « pister » ce signal tout au long de l'installation. Le temps de recherche du défaut est relativement long en particulier lors de défauts intermittents.

Cette phase de recherche de défaut explique pourquoi la norme NF C 15-100 impose d'avoir un service d'entretien électrique compétent pour rechercher et éliminer rapidement le premier défaut d'isolement avant qu'un autre défaut n'impose la mise hors tension d'un des récepteurs défaillants.

Vous trouverez sur votre documentation ressource la méthode de recherche de défaut.