LES RESEAUX A NEUTRE COMPENSE

Recommandations générales

- Vérifier que le sujet comporte 16 pages, 11 pages en annexe et 07 pages de documents réponses.

- L'épreuve se compose de trois parties indépendantes. A l'intérieur de chaque partie, de nombreuses questions sont également indépendantes. *Le candidat est donc invité à lire rapidement et entièrement l'énoncé avant de commencer à composer afin de bien répartir le temps de composition entre les différentes parties.*

- Les parties A, B et C doivent être rédigées sur des copies séparées en respectant scrupuleusement la numérotation des questions et les notations de l'énoncé. Une rédaction soignée, une écriture lisible et des résultats encadrés seront appréciés par les correcteurs.

- Si au cours de l'épreuve, le candidat détecte ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale par écrit dans sa copie et poursuit sa composition en indiquant précisément les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

LES RESEAUX A NEUTRE COMPENSE

Transfix
groupe Cahors

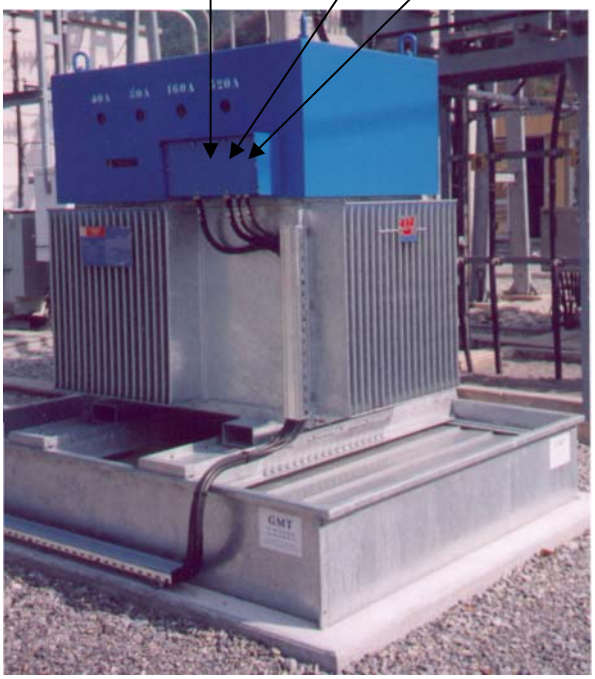
S.A.A. (Système d'Accord Automatique)

D.I.C. (Dispositif d'Injection de Courant)

Réseau 20 kV ou 15 kV

Alim. 230

C.C.I.C. (Contrôle Commande de l'I.C.)



I.C. (Impédance de Compensation)

LES RESEAUX A NEUTRE COMPENSE

SOMMAIRE

INTRODUCTION **04**

PARTIE A : NEUTRE A LA TERRE PAR RESISTANCE

A1 : Cas d'un réseau aérien.....**07**
A2 : Cas d'un réseau souterrain
A21 : Un seul départ en service.....**08**
A22 : Tous les départs en service **09**

PARTIE B : NEUTRE COMPENSE

B1 : Détermination des éléments du schéma homopolaire **10**
B2 : Détermination du dipôle homopolaire au point de défaut.....**11**
B3 : Représentation du schéma homopolaire **11**
B4 : Utilisation des Protections Ampèremétrique Homopolaire (P.A.H.) **11**
B5 : Utilisation des Protections Wattmétrique Homopolaire type 1 (P.W.H.).....**11**
B6 : Etude du régime transitoire à l'apparition d'un défaut de résistance R_d sur un réseau parfaitement compensé.....**12**
B7 : Étude d'une P.W.H. type 2 .....**13**

PARTIE C : ÉTUDE DE L'IMPEDANCE DE COMPENSATION

C1 : Étude des bobines d'accord **14**
C2 : Étude de la bobine de point neutre (BPN) **16**

INTRODUCTION

Dans le domaine de la distribution électrique publique haute tension, la qualité de la fourniture de l'énergie ainsi que le respect de l'environnement sont à prendre en compte aujourd'hui avec de plus en plus de considération.

Les contraintes environnementales liées au respect des sites naturels, les conditions climatiques extrêmes ainsi que les exigences des clients en terme de qualité, ont forcé le Réseau de Transport d'Électricité (RTE) à enfouir un nombre de plus en plus important de lignes électriques.

Le comportement différent de ces réseaux souterrains, fait apparaître des problèmes de surtensions au niveau des clients basse tension et rend inadapté les protections jusqu'alors utilisées.

Les défauts sur les réseaux sont de 70% à 80% du type phase terre. Une évolution des schémas de liaison à la terre ainsi que la mise en place de nouvelles protections a été nécessaire pour satisfaire aux critères de qualité et de sécurité.

L'objet de l'étude est de présenter le problème, puis de justifier les solutions qui sont mises en œuvre aujourd'hui.

PRESENTATION

L'étude se limite à un poste source alimentant plusieurs départs haute tension.

Le schéma correspondant est donné en annexe 1.

- Le départ 1 représente l'alimentation de clients basse tension.
- Le départ 2 représente l'alimentation de clients haute tension.
- Le départ 3 représente la ligne équivalente à tous les autres départs.
- Les courants consommés par les charges ne seront pas pris en considération, seuls les courants engendrés par les défauts seront étudiés.
- Les impédances des lignes sont négligées, les transformateurs sont considérés parfaits.

NOTATIONS UTILISEES

Grandeur instantanée : **v (t)**
Grandeur efficace : **V**
Grandeur complexe : $\underline{V}$
Grandeur complexe conjuguée : $\underline{V}^*$

Système triphasé : $\underline{V}_1, \underline{V}_2, \underline{V}_3$ $\quad \underline{V}_1 = V$ $\quad a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$
$\underline{V}_2 = a^2 V$
$\underline{V}_3 = a V$

Puissance en triphasé : $\underline{S} = 3\, \underline{V}\, \underline{I}^*$

Composantes symétriques :

$$\underline{V}_1 = \underline{V}_d + \underline{V}_i + \underline{V}_0$$
$$\underline{V}_2 = a^2\underline{V}_d + a\, \underline{V}_i + \underline{V}_0$$
$$\underline{V}_3 = a\, \underline{V}_d + a^2\underline{V}_i + \underline{V}_0$$

$$3\, \underline{V}_d = \underline{V}_1 + a\, \underline{V}_2 + a^2\underline{V}_3$$
$$3\, \underline{V}_i = \underline{V}_1 + a^2\underline{V}_2 + a\, \underline{V}_3$$
$$3\, \underline{V}_0 = \underline{V}_1 + \underline{V}_2 + \underline{V}_3$$

Grandeur résiduelle : $\underline{V}_r = \underline{V}_1 + \underline{V}_2 + \underline{V}_3 = 3\underline{V}_0$

BPN : .....bobine de point neutre permettant la réalisation du neutre ;
PAH : .....protection ampèremétrique homopolaire (déclenchement sur seuil de courant résiduel) ;
PWH : .....protection wattmétrique homopolaire (déclenchement sur seuil de puissance résiduelle) ;
$\mathbf{B_1, B_2, B_3, B_4}$: .....bobines d'accord
$\mathbf{R_1, R_2}$: .....résistances de contrôle du courant actif de défaut ;
$\mathbf{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6}$: .....interrupteurs de commande des bobines d'accord et des résistances R_1, R_2.

$\mathbf{R_{nHT}}$: .....résistance de la liaison du neutre HTA à la terre ;
$\mathbf{R_{nBT}}$: .....résistance de la liaison du neutre BT à la terre ;
$\mathbf{R_u}$: .....résistance de la prise de terre d'un client BT ;
$\mathbf{R_m}$: .....résistance de la prise de terre des masses du poste HT / BT ;
$\mathbf{R_d}$:.....résistance de défaut ;
k : .....coefficient de couplage des terres R_m et R_{nBT} : 15% ;

$\mathbf{C_0}$: .....capacité linéique homopolaire des câbles enterrés : 0,2 µF/km ;
$\mathbf{Z_n}$: .....Impédance de la liaison du neutre HTA à la terre ;
$\mathbf{R_n}$: .....résistance parallèle de l'impédance de neutre ;
$\mathbf{X_n}$: .....réactance parallèle de l'impédance de neutre ;

$\mathbf{I_{xy}}$: .....courant du départ x, phase y ;
$\mathbf{I_{rx}}$: .....courant résiduel du départ x ;
$\mathbf{I_d}$: .....courant au point de défaut ;
$\mathbf{I_a}$: .....composante active du courant de défaut.
$\mathbf{I_n}$: .....courant dans l'impédance de neutre ;
$\mathbf{I_L}$: .....courant de compensation de l'impédance de compensation ;
$\mathbf{I_{des}}$: .....courant de désaccord ;

V_n : .....tension aux bornes de l'impédance de neutre ;
V_{nBT} : .....tension aux bornes de la résistance R_{nBT} du neutre BT ;

P_r : .....puissance active mesurée par une PWH ;
Q_r : .....puissance réactive mesurée par une PWH ;
P_n : .....puissance active dans l'impédance de neutre ;
Q_n : .....puissance réactive dans l'impédance de neutre ;

R_{sx} : .....résistance du modèle série de la bobine B_x ;
X_{sx} : .....réactance du modèle série de la bobine B_x ;
R_{px} : .....résistance du modèle parallèle de la bobine B_x ;
X_{px} : .....réactance du modèle parallèle de la bobine B_x ;

m_v : .....masse volumique du cuivre = 8920 kg/m^3 ;
ρ :.....résistivité du cuivre à 20°C = $1,7.10^{-8}$ Ωm ;
c : .....chaleur massique du cuivre = 380 $J.kg^{-1}K^{-1}$;
α : .....coefficient de température du cuivre = 0,004 $°C^{-1}$;

ω : .....pulsation du réseau ;
Ψ : .....angle de retard correspondant à l'instant du défaut.

PARTIE A : NEUTRE A LA TERRE PAR RESISTANCE

Le schéma étudié est celui présenté en annexe 1.

Dans cette partie le neutre du transformateur 63 kV / 20 kV est mis à la terre par une résistance. L'ensemble résistance plus prise de terre vaut : $\mathbf{R_{nHT} = 30\ \Omega}$.
La résistance de la prise de terre des masses du poste HT/BT vaut $\mathbf{R_m = 50\ \Omega}$.
La résistance de la prise de terre du neutre du transformateur HT/BT vaut $\mathbf{R_{nBT} = 15\ \Omega}$.
La résistance de la prise de terre du client basse tension vaut $\mathbf{R_u = 60\ \Omega}$.

Deux types de défaut sont étudiés :

Type A : défaut franc phase 1 – terre
Type B : défaut franc phase 1 – masse du poste HT/BT

Pour tous les calculs, la grandeur de référence sera la tension simple de la phase1 au secondaire du transformateur 63 kV / 20 kV ($\underline{E}_1 = E$).

A1 Cas d'un réseau aérien :

Les impédances des lignes et les capacités homopolaires phase - terre sont négligées.

QA 1. Donner les limites de tension des domaines BTA, BTB, HTA et HTB en alternatif.

QA 2. Un système triphasé quelconque, peut se décomposer en trois systèmes indépendants (direct, inverse et homopolaire). Donner la définition de ces trois systèmes et l'illustrer par un diagramme.

QA 3. Comment se traduit physiquement la présence d'un système homopolaire de tension et de courant dans un système triphasé.

QA 4. Les protections homopolaires nécessitent la connaissance des grandeurs résiduelles v_r (t) et i_r (t) pour fonctionner. Représenter un schéma, composé de transformateurs de potentiel et d'intensité, permettant d'obtenir ces informations, sur un réseau triphasé sans neutre.

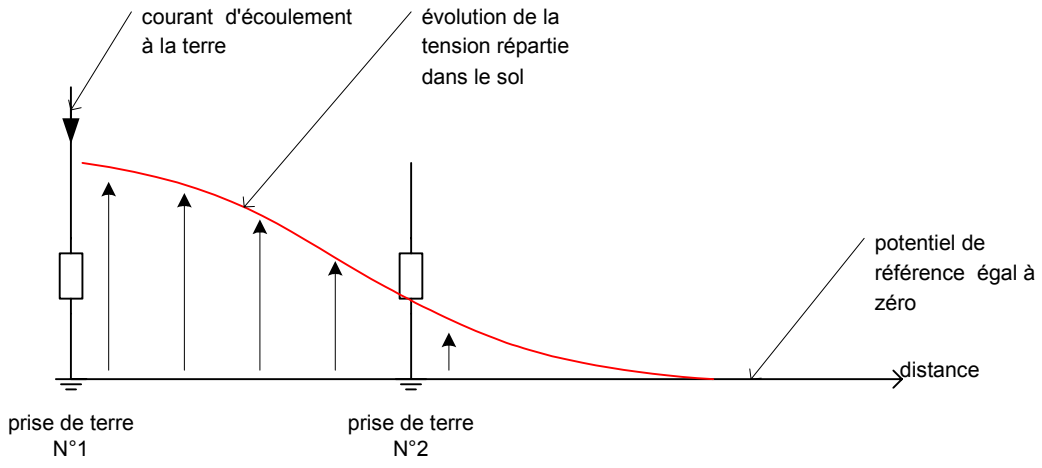
QA 5. Pour un défaut de type A sur le départ 1, exprimer $\underline{V}_r$ en fonction de E.

QA 6. Calculer dans ce cas V_r et I_r.

QA 7. Ce défaut a-t-il une incidence sur l'alimentation du client basse tension. Pourquoi ?

QA 8. Lors d'un défaut sur une ligne, préciser les raisons, qui conduisent au maintien ou à la séparation de cette ligne du réseau

Le couplage des terres par impédance commune représente le rapport des tensions apparaissant sur deux prises de terre proches.



La norme C15-100 précise que la tension d'isolement des matériels basse tension doit être supérieure à 1500 V.

QA 9. Pour un défaut de type B sur le départ 1, calculer l'élévation du potentiel du neutre V_{nBT} du client BT par rapport à la terre.

QA 10. Donner la définition de la tension d'isolement d'un matériel et préciser si dans le cas précédent, la norme est respectée.

A2 Cas d'un réseau souterrain :

La valeur linéique des capacités homopolaires est de **0,2 µF/km**, les impédances des lignes sont négligées.
Les départs sont protégés par des protections ampèremétriques homopolaires (PAH).

A2.1 Le départ 1 est seul en service :

- **Pour un défaut de type A :**

QA 11. Représenter sur le document réponse DRQA11 le parcours des courants engendrés par le défaut.

QA 12. Représenter un schéma électrique équivalent au circuit en défaut et noter les tensions $\underline{E}_1$, $\underline{E}_2$, $\underline{E}_3$, $\underline{V}_1$, $\underline{V}_2$, $\underline{V}_3$ ainsi que les courants $\underline{I}_{11}$, $\underline{I}_{12}$, $\underline{I}_{13}$, $\underline{I}_n$, $\underline{I}_d$ et $\underline{I}_{r1}$.

QA 13. Calculer les modules et phases des courants $\underline{I}_{11}$, $\underline{I}_{12}$, $\underline{I}_{13}$ dans chaque phase au niveau du départ1.

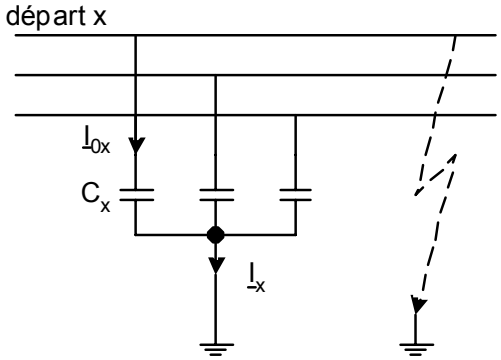
QA 14. Calculer le courant résiduel I_{r1} vu par la protection ampère métrique homopolaire (PAH) du départ1 ainsi que le courant I_d circulant dans le défaut.

QA 15. Représenter sur le document réponse DRQA15, le diagramme de Fresnel des tensions $\underline{E}_1$ (référence), $\underline{E}_2$, $\underline{E}_3$, $\underline{V}_1$, $\underline{V}_2$, $\underline{V}_3$ ainsi que les courants $\underline{I}_{11}$, $\underline{I}_{12}$, $\underline{I}_{13}$ et $\underline{I}_n$.

QA 16. Les raisons évoquées à la question QA8. sur le maintien de la connexion de la ligne au réseau sont elles modifiées ? Est il nécessaire de modifier le seuil de déclenchement de la PAH du départ 1 ?

A2.2 Tous les départs sont en service :

On note $\underline{I}_{0x}$ le courant circulant dans un condensateur homopolaire **en l'absence de défaut** et $\underline{I}_x$ la somme des courants des 3 capacités C_x du modèle, **en présence d'un défaut franc phase - terre**.



- **Pour un défaut de type A sur le départ 1 :**

QA 17. Représenter sur le document réponse DRQA17 le parcours des courants engendrés par le défaut.

QA 18. Déterminer, la relation entre le courant $\underline{I}_x$ et le courant $\underline{I}_{0x}$.

QA 19. Proposer une intensité pour le réglage du seuil de déclenchement de la PAH du départ 2.

QA 20. Calculer le nouveau courant résiduel I_{r1} du départ 1 et la valeur du courant de défaut I_d.

QA 21. Proposer une intensité pour le réglage du seuil de déclenchement de la PAH du départ 1.

- **Pour un défaut de type B sur le départ 1 :**

QA 22. Représenter un schéma équivalent simplifié de l'installation pendant le défaut en ne faisant apparaître que les générateurs et les impédances concernées.

QA 23. Exprimer la tension $\underline{V}_n$ aux bornes de la résistance R_{nHT} en fonction des éléments du circuit.

QA 24. Calculer la valeur efficace I_d du courant de défaut.

QA 25. Calculer l'élévation du potentiel V_{nBT} du neutre BT par rapport à la terre.

QA 26. Le défaut précédent présente-t-il un risque pour le matériel BT.

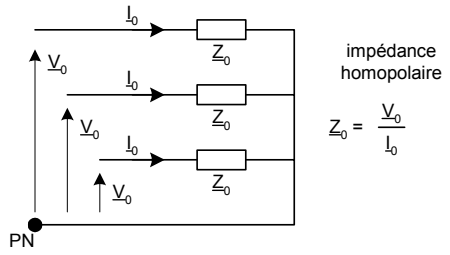
QA 27. Citer 3 problèmes qui sont apparus sur le réseau HTA suite à l'enfouissement des lignes.

PARTIE B : NEUTRE COMPENSE

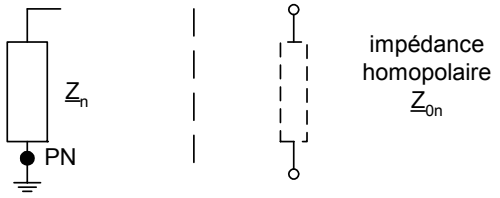
Le neutre compensé permet de réduire les courants de défauts, les énergies mises en jeu, les surtensions BT et rend certains défauts auto extincteurs.
La résistance du neutre HTA est alors remplacée par une impédance Z_n composée d'une résistance R_n en parallèle avec une réactance X_n.

B1. Détermination des éléments du schéma homopolaire :

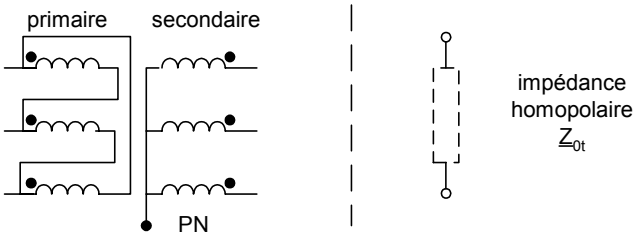
L'impédance homopolaire d'un circuit est déterminée en plaçant sur chaque phase la même tension par rapport à un point neutre considéré.



QB 1. Déterminer en fonction de $\underline{Z}_n$, l'impédance homopolaire $\underline{Z}_{0n}$ correspondant au circuit de mise à la terre du transformateur 63 kV / 20 kV.

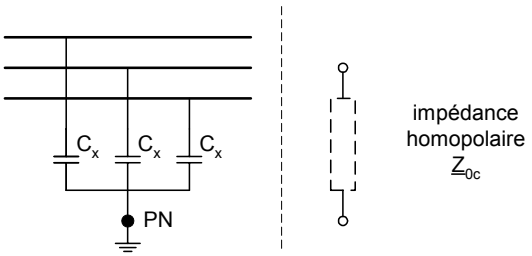


QB 2. Déterminer l'impédance homopolaire $\underline{Z}_{0t}$ du transformateur 63 kV / 20 kV vue du secondaire. Le courant magnétisant, les résistances et réactances de fuites des enroulements sont négligées.



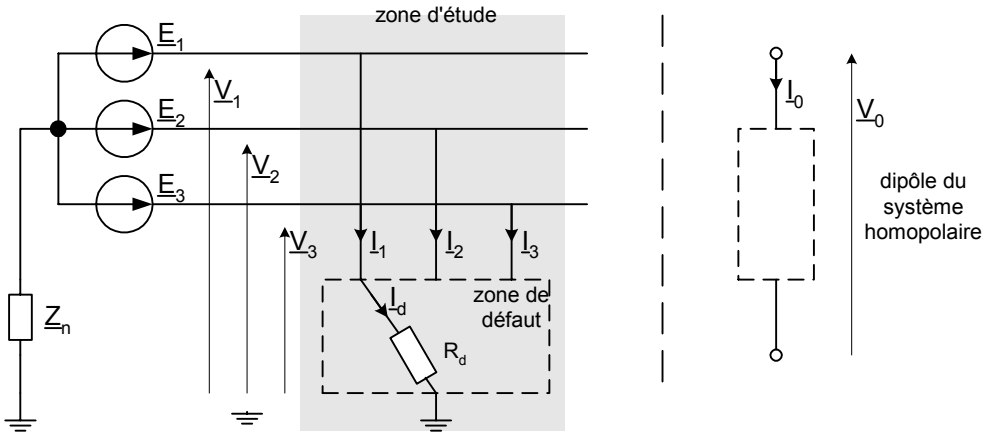
QB 3. Déterminer l'impédance homopolaire $\underline{Z}_{0c}$ d'un câble

C_x représente la capacité phase - terre d'un conducteur. Le câble est symétrique et les 3 capacités sont identiques.



B2. Détermination du dipôle homopolaire au point de défaut :

Le défaut considéré est un défaut phase1 – terre de résistance R_d.



QB 4.	Exprimer le courant homopolaire $\underline{I}_0$ en fonction du courant de défaut $\underline{I}_d$.
QB 5.	Exprimer la tension homopolaire $\underline{V}_0$ du système de tensions $\underline{V}_1$, $\underline{V}_2$, $\underline{V}_3$ en fonction de $\underline{E}_1$, $\underline{E}_2$, $\underline{E}_3$, $\underline{I}_0$ et R_d.

B3. Représentation du schéma homopolaire :

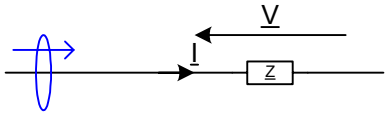
QB 6.	Représenter le schéma équivalent homopolaire de l'installation en défaut et flécher les courants et tensions dans le sens conventionnel des générateurs et des récepteurs.
QB 7.	Représenter sur ce schéma la position des protections homopolaires des départs 1, 2 et 3.

B4. Utilisation de Protection Ampèremétrique Homopolaire (P.A.H.) :

QB 8.	Lors d'un défaut franc, le courant de défaut ne doit pas dépasser 40 A efficace avec une composante active de 20 A. Déterminer les intervalles des valeurs pour R_n et X_n.
QB 9.	Pour un réseau accordé et un défaut de résistance R_d, exprimer en fonction de R_d et des éléments du schéma homopolaire, la tension homopolaire $\underline{V}_0$, les courants résiduels $\underline{I}_{r1}$, $\underline{I}_{r2}$, $\underline{I}_{r3}$ des départs 1, 2, 3 ainsi que le courant $\underline{I}_n$ dans l'impédance du neutre.
QB 10.	Pour R_d = 100 Ω, calculer et représenter sur un diagramme de Fresnel $\underline{V}_0$, $\underline{I}_{r1}$, $\underline{I}_{r2}$, $\underline{I}_{r3}$, $\underline{I}_n$ en prenant $\underline{E}_1$ comme référence.
QB 11.	Pour quelles raisons, les PAH ne permettent pas la protection des réseaux à neutre compensé ?

B5. Utilisation de Protection Wattmétrique Homopolaire type 1(PWH1) :

Les protections wattmétriques homopolaires mesurent les puissances active et réactive des grandeurs résiduelles $\underline{V}_r$ et $\underline{I}_r$. La puissance active est considérée comme positive en convention récepteur lorsqu'elle circule dans le sens de la flèche notée sur le document annexe 1.



Les protections de type 1 ne fonctionnent que sur un régime permanent de défaut.

QB 12. En respectant cette convention, exprimer puis calculer les puissances actives et réactives vues par les PWH des départs 1 et 2 (P_{r1}, P_{r2}, Q_{r1}, Q_{r2}).

QB 13. Exprimer et calculer les puissances active et réactive dans l'impédance de neutre (P_n, Q_n).

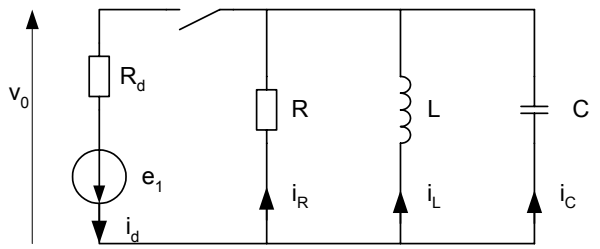
La chaîne de mesure des PWH est constituée de transformateurs de potentiel de rapport 100 / 20000 de classe 1,5 et de transformateurs de courant de rapport 5 / 200 de classe 2.

QB 14. Proposer un réglage du seuil Sw pour la PWH1 du départ 1 (voir annexe 2).

La détection de défaut par la puissance active homopolaire nécessite que la tension homopolaire v_0 (t) soit stable. Le régime transitoire d'établissement de v_0 (t) ne doit pas créer le déclenchement intempestif des PWH.

B6. Étude du régime transitoire à l'apparition d'un défaut de résistance Rd sur un réseau parfaitement compensé :

Le schéma étudié est le suivant :



$R_d = 100\Omega$
$R = 577\Omega$
$L = 73{,}4\text{mH}$
$C = 138\mu\text{F}$

Le défaut se produit à l'instant t_0 correspondant à l'angle Ψ (Ψ = ωt_0). La tension de référence reste la tension $e_1(t) = E_1\sqrt{2}\sin(\omega t)$

QB 15. En regard de la question QB6., identifier les composants R, L, C et préciser les transformations appliquées à ce schéma.

QB 16. Établir l'équation différentielle du courant i_L (t) apparaissant dans l'inductance L à l'apparition du défaut.

QB 17. Résoudre numériquement cette équation pour Ψ = π / 2 et écrire l'équation temporelle de i_L (t).

QB 18. Montrer que i_L (t) peut s'écrire sous forme approchée $i_L(t) = \hat{I}(1 - e^{-\alpha t})\sin\omega t$, puis exprimer Î et α en fonction des éléments du circuit.

QB 19. Exprimer puis écrire numériquement la tension homopolaire v_0 (t).

QB 20. Exprimer puis écrire numériquement le courant de défaut i_d (t)

QB 21. Exprimer puis écrire numériquement le courant résiduel i_{r2} (t) vu par la PWH du départ 2.

Afin de simplifier les calculs, on fera l'hypothèse que les termes exponentiels décroissent lentement devant la période du secteur, ce qui signifie qu'un terme de la forme $e^{-\alpha t}\sin\omega t$ a une valeur moyenne nulle.

QB 22. En tenant compte de cette hypothèse, exprimer l'évolution de la puissance active résiduelle mesurée par la PWH du départ 2 en fonction du temps, P_{r2} (t).

QB 23. Calculer la valeur maximum de cette puissance résiduelle et représenter l'allure de P_{r2} (t).

QB 24. A quoi est du l'apparition de cette puissance active ?

Une étude similaire à la disparition du défaut montrerait que la puissance résiduelle sur ce départ aurait la même allure mais avec un signe opposé.

QB 25. Les régimes transitoires peuvent-ils perturber le fonctionnement des PWH ? Pourquoi.

QB 26. Proposer un schéma fonctionnel du module de détection d'une PWH, permettant de rejeter ces perturbations.

L'enregistrement d'un défaut est présenté sur l'annexe 5 (documents 1 et 2).

QB 27. Préciser en le justifiant, parmi les départs 1 et 2 quel est le départ en défaut.

QB 28. Indiquer en le justifiant, l'instant approximatif de disparition du défaut.

Le faible courant de défaut favorise l'auto extinction des défauts. Il se produit dans certaines conditions, des défauts auto extincteurs réamorçant. Ces défauts ont une durée de quelques dizaines de millisecondes mais avec une périodicité de plusieurs centaines de millisecondes. Le régime permanent n'est jamais atteint. De nouvelles protections homopolaires dénommées PWH2 ont été élaborées pour la détection de ce type de défaut.

B7. Étude d'une PWH type 2 :

Les caractéristiques ainsi que le schéma fonctionnel de la détection d'une PWH2 sont présentées en annexe 2.

Les réglages sont les suivants :

- Sw : 40 kW ;
- Confirmation : sans ;
- Temps mémoire de la temporisation de maintien : 200 ms ;
- Temps de la temporisation de déclenchement : 200 ms (temporisation au travail).

Un enregistrement d'un défaut réamorçant présentant la tension v_r (t), le courant i_r (t), la puissance active P_r (t) et la puissance réactive Q_r (t) est donné sur le document réponse DRQB29-30-30-31-32.

<u>Sur ce document réponse DRQB29-30-31-32</u> :

QB 29. Représenter le chronogramme de l'information de puissance au point S, à la sortie du bloc « calcul des puissances résiduelles avec contrôle ». Le contrôle consiste au calcul du rapport Q_r / P_r.

QB 30. Représenter le chronogramme de l'évolution temporelle du bit de sortie « instantané (pick up) ».

QB 31. Représenter le chronogramme de l'évolution temporelle de la grandeur « temps mémorisé » de la temporisation TMD.

QB 32. Représenter les chronogrammes des bits de sorties « drop out » et « temporisé avant accrochage ».

QB 33. Comment réagirait une PWH1 sur ce type de défaut.

PARTIE C : ETUDE DE L'IMPEDANCE DE COMPENSATION

Voir le schéma de principe en annexe 3

L'impédance de compensation doit être accordée en permanence à la capacité homopolaire du réseau afin de prévoir le courant de défaut lorsque celui-ci apparaît.

Elle est constituée :

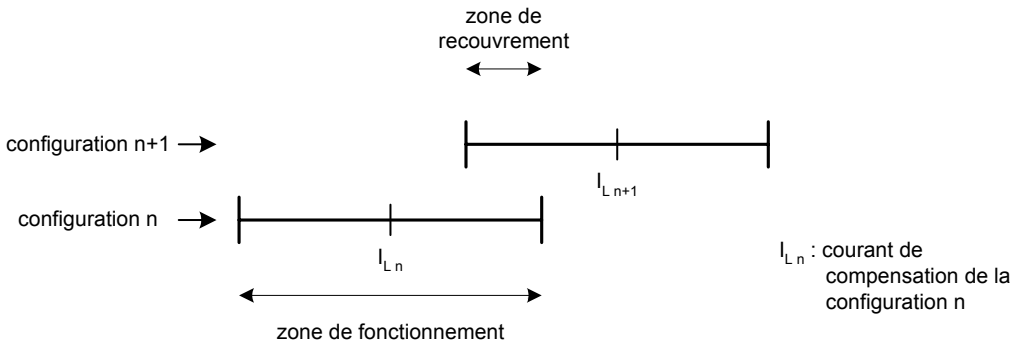
- d'une bobine de point neutre (B.P.N.) permettant la réalisation du neutre ;
- d'un ensemble de bobines permettant l'accord ;
- de deux résistances permettant le contrôle du courant actif de défaut ;
- d'un système d'accord automatique qui réalise la détermination de l'impédance homopolaire du réseau, le réglage des bobines d'accord et des résistances de contrôle du courant actif.

Le type de défaut envisagé ici est un défaut de type A : défaut franc phase 1 – terre.

C1. Étude des bobines d'accord :

Les interrupteurs S_1 à S_4 permettent de réaliser des configurations qui fixent le courant de compensation pour une certaine plage de variation du courant capacitif résiduel du réseau I_c.

- Entre chaque configuration, il existe une zone de recouvrement de 29 A.
- Le courant de défaut maximal ne doit pas dépasser 40 A avec une composante active de 20 A minimum.
- Le courant de compensation de la bobine B1 est de 40 A.



Les bobines sont considérées comme une réactance en parallèle avec une résistance.
Les interrupteurs S_5 et S_6 sont ouverts.

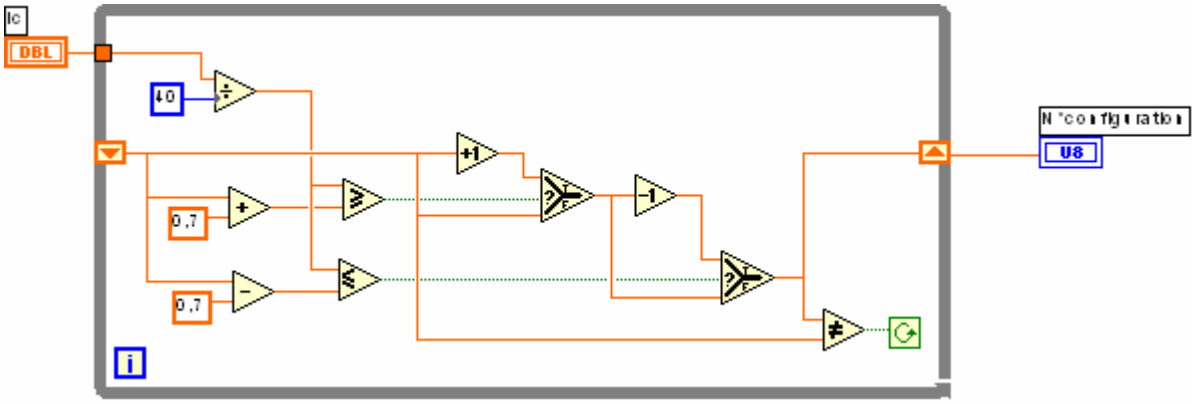
QC 1. Calculer le courant de désaccord $I_{des} = \left|\underline{I}_c - \underline{I}_L\right|$ maximum autorisé.

QC 2. Compléter le document réponse DRQC2 en précisant pour chaque configuration le courant de compensation et la plage de fonctionnement.

QC 3. Préciser le courant de compensation des bobines B_2, B_3 et B_4, puis compléter l'état des interrupteurs S_1 à S_4 pour les différentes configurations (document réponse DRQC3).

QC 4. Quelle est l'utilité des plages de recouvrement prévu entre chaque configuration.

Le numéro de configuration est déterminé en fonction du courant capacitif résiduel du réseau I_c par le programme graphique ci-dessous. Le détail des fonctions est présenté dans le document annexe 4.



QC 5.	Pour un courant I_c variant progressivement de 200 A à 400 A, compléter le document réponse DRQC5 en précisant le numéro de configuration, le courant de compensation et en traçant la courbe du courant de désaccord en fonction de I_c.
QC 6.	Pour un courant I_c variant progressivement de 400 A à 200 A, compléter le document réponse DRQC6 en précisant le numéro de configuration, le courant de compensation et en traçant la courbe du courant de désaccord en fonction de I_c.
QC 7.	Pour une configuration donnée, calculer le courant actif maximum permis.
QC 8.	Calculer la plage de la résistance de contrôle du courant actif sachant qu'une marge d'erreur de +/-1 A est prévue sur le courant actif

Les résistances à 20°C du modèle série des bobines sont :

- Bobine B_1 : R_{s1} = 7,57 Ω
- Bobine B_2 : R_{s2} = 6,7 Ω
- Bobine B_3 : R_{s3} = 3,36 Ω
- Bobine B_4 : R_{s4} = 1,37 Ω

QC 9.	Exprimer les grandeurs X_p et R_p du schéma équivalent parallèle d'une bobine en fonction des grandeurs R_s et X_s du schéma équivalent série.
QC 10.	Calculer la réactance parallèle de chaque bobine.
QC 11.	Exprimer R_p en fonction de R_s et X_p.
QC 12.	Calculer la résistance parallèle de chaque bobine.

Le transformateur T_R à un rapport de transformation m = 500 / 12000 (annexe 3)

QC 13.	Exprimer la relation permettant de déterminer la plage de la résistance parallèle additionnelle selon l'état des interrupteurs S_1 à S_4, puis la calculer pour chaque configuration (compléter le document réponse DRQC13).
QC 14.	Proposer en le justifiant des valeurs de R_1 et R_2 permettant de maintenir le courant actif à une valeur supérieure à 20A, puis compléter l'état des interrupteurs S_5 et S_6 sur le document réponse DRQC14.

Le courant de défaut n'étant pas permanent, il est indispensable de faire un dimensionnement thermique des conducteurs des bobines. Afin de respecter la valeur minimale du courant actif à 20 A, la variation relative de la résistance du modèle parallèle $\left|\frac{\Delta R_p}{R_p}\right|$ de chaque bobine ne doit excéder 5% pendant la phase de défaut.

Durant le défaut, la résistance du modèle série varie linéairement avec la température alors que la réactance série reste constante.

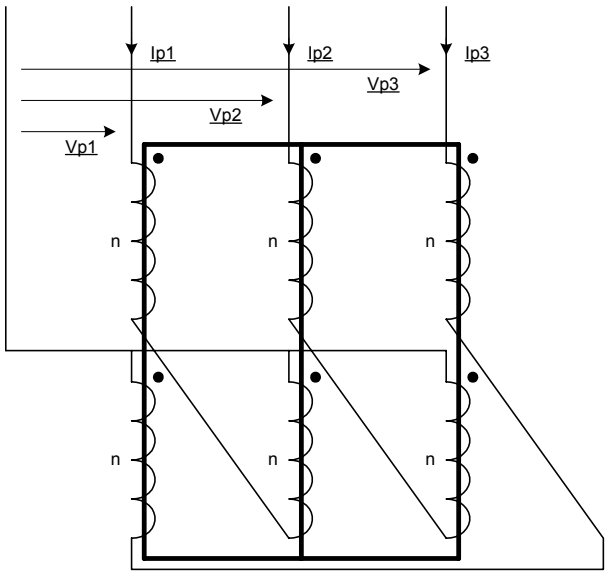
QC 15. Après linéarisation autour du point θ = 20°C, exprimer la variation de température $\Delta\theta$ des conducteurs en fonction de $\left|\frac{\Delta R_p}{R_p}\right|$.

Les spécifications EDF précisent que la durée maximale d'un défaut est de Δt = 10 secondes.

QC 16. Exprimer la section des conducteurs des bobines en fonction de ρ, m_v, c, I, $\Delta\theta$ et Δt.

QC 17. Calculer les sections des conducteurs des bobines B_1, B_2, B_3 et B_4.

C2. Étude de la bobine de point neutre (BPN) :



La bobine de point neutre permet de réaliser un point neutre d'impédance très faible.
Les résistances ainsi que les inductances de fuites des enroulements sont négligées.
Chaque colonne du circuit magnétique a une réluctance identique de $\mathcal{R}$ = 9500 H^{-1}
Les enroulements comportent chacun n = 770 spires.

QC 18. Déterminer l'impédance directe $\underline{Z}_d$ de la BPN.

QC 19. Déterminer l'impédance homopolaire $\underline{Z}_0$ de la BPN.

QC 20. Calculer la puissance réactive consommée par le BPN en l'absence de défaut.

QC 21. Pour quelles raisons le constructeur de l'impédance de compensation préfère réaliser une bobine de point neutre plutôt que d'utiliser le neutre du transformateur ?

La longueur totale des lignes en service est de 125 km.

QC 22. Réaliser une synthèse du problème en complétant les cadres du document réponse DRQC22 avec la valeur complexe du courant correspondant. Vous justifierez chaque valeur en vous appuyant sur la réponse à une question du problème ou par un calcul simple.

LES RESEAUX A NEUTRE COMPENSE

ANNEXES

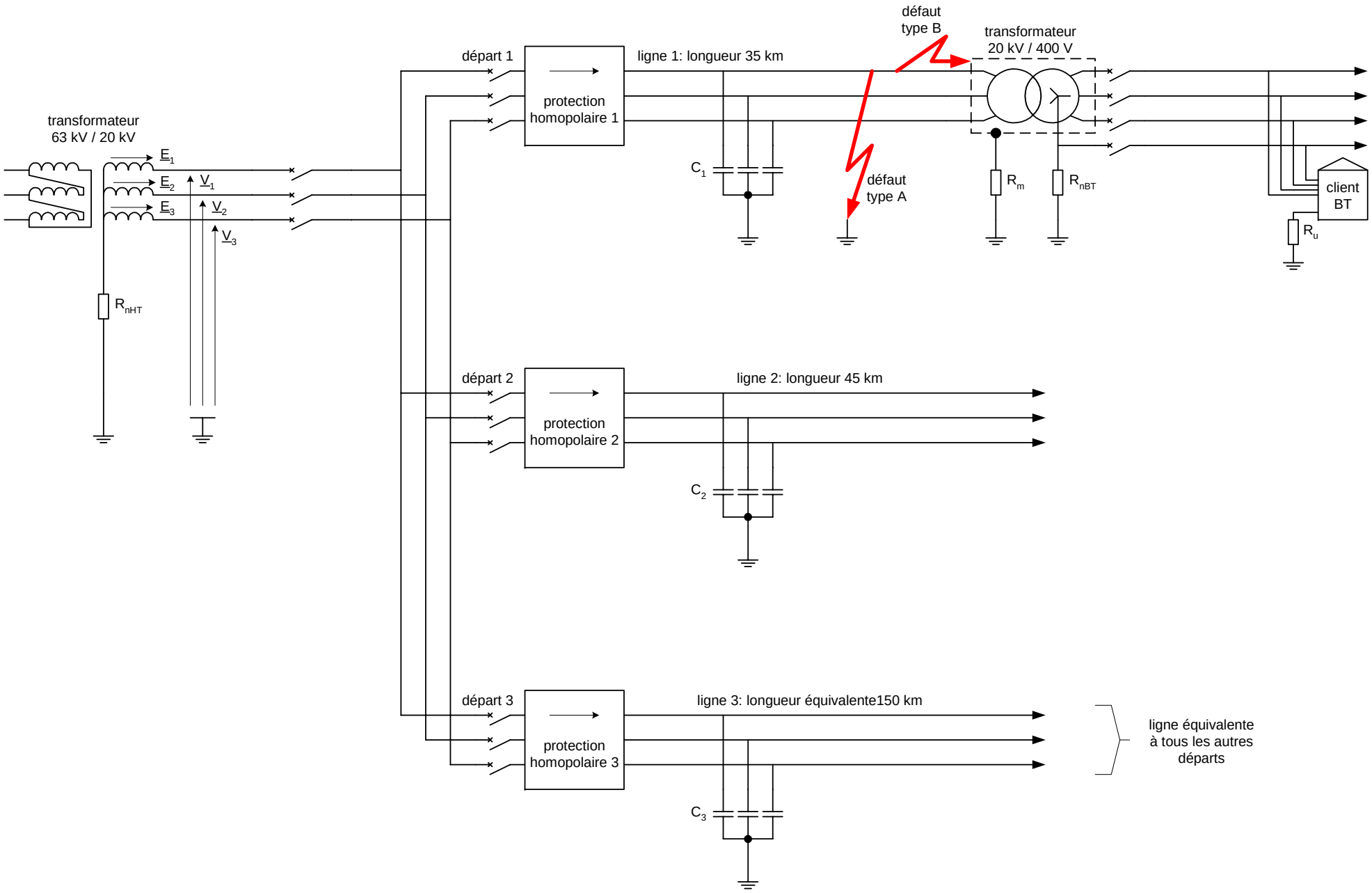
ANNEXE 1 ..... **1 page**

ANNEXE 2 ..... **5 pages**

ANNEXE 3 ..... **1 page**

ANNEXE 4 ..... **2 pages**

ANNEXE 5 ..... **2 pages**


défaut
type B
transformateur
20 kV / 400 V
départ 1
ligne 1: longueur 35 km
protection
homopolaire 1
transformateur
63 kV / 20 kV
E1
E2
E3
V1
V2
V3
C1
défaut
type A
Rm
RnBT
client
BT
Ru
RnHT
départ 2
ligne 2: longueur 45 km
protection
homopolaire 2
C2
départ 3
ligne 3: longueur équivalente150 km
protection
homopolaire 3
C3
ligne équivalente
à tous les autres
départs

Annexe 1

Annexe 2

Protection des réseaux électriques

Sepam série 48 Merlin Gerin

Protection C13-100 des postes
de livraison en régime de neutre
compensé et impédant

2003

Sepam

une marque de Schneider Electric

Merlin Gerin

Sommaire

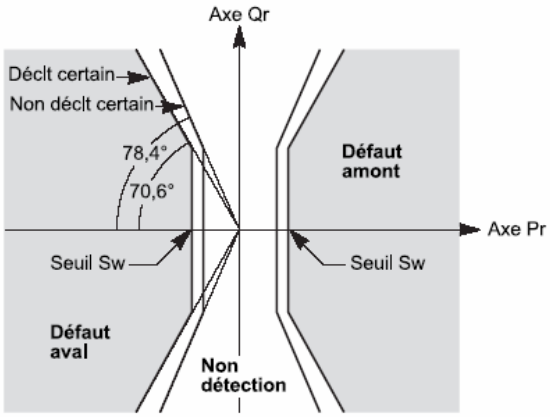
Gammes de réglages **3/2**
Maximum de puissance wattmétrique homopolaire (PWH) **3/3**
Code ANSI 32N 3/3

Fonctions	Réglages		Temporisations
ANSI 32N - Maximum de puissance wattmétrique homopolaire (PWH)			
Courbe de déclenchement	Temporisation de déclenchement		
	Temps indépendant	DT	
	Temps mémoire (TMD)	100 ms ou 200 ms	
Seuil Sw	20, 40, 80, 120 kW primaire		
Angle caractéristique	Déclenchement certain	70,6°	
	Non déclenchement certain	78,4°	
ANSI 50/51 - Maximum de courant phase			
Courbe de déclenchement	Temporisation de déclenchement	Temporisation de maintien	
	Temps indépendant	DT	
	SIT, LTI, VIT, EIT, UIT (1)	DT	
	RI	DT	
	CEI : SIT/A, LTI/B, VIT/B, EIT/C	DT ou IDMT	
	IEEE : MI (D), VI (E), EI (F)	DT ou IDMT	
	IAC : I, VI, EI	DT ou IDMT	
Seuil Is	0,1 à 24 In	Temps indépendant	Inst ; 0,05 s à 300 s
	0,1 à 2,4 In	Temps dépendant	0,1 s à 12,5 s à 10 Is
Temps de maintien	Temps indépendant (DT ; timer hold)		Inst ; 0,05 s à 300 s
	Temps dépendant (IDMT ; reset time)		0,5 s à 20 s
Confirmation	Sans		
	Par maximum de tension inverse		
	Par minimum de tension composée		
ANSI 50N/51N - Maximum de courant terre			
Courbe de déclenchement	Temporisation de déclenchement	Temporisation de maintien	
	Temps indépendant	DT	
	SIT, LTI, VIT, EIT, UIT (1)	DT	
	RI	DT	
	CEI : SIT/A,LTI/B, VIT/B, EIT/C	DT ou IDMT	
	IEEE : MI (D), VI (E), EI (F)	DT ou IDMT	
	IAC : I, VI, EI	DT ou IDMT	
Seuil Is0	0,1 à 15 In0	Temps indépendant	Inst ; 0,05 s à 300 s
	0,1 à 1 In0	Temps dépendant	0,1 s à 12,5 s à 10 Is0
Temps de maintien	Temps indépendant (DT ; timer hold)		Inst ; 0,05 s à 300 s
	Temps dépendant (IDMT ; reset time)		0,5 s à 20 s
ANSI 59N - Maximum de tension			
	2 à 80 % de Unp		0,05 s à 300 s

Nota : *les paramètres généraux In, Ib, In0, Unp et Vnp sont décrits dans le chapitre "Fonctions de mesure" en page 2/2 : Caractéristiques.*

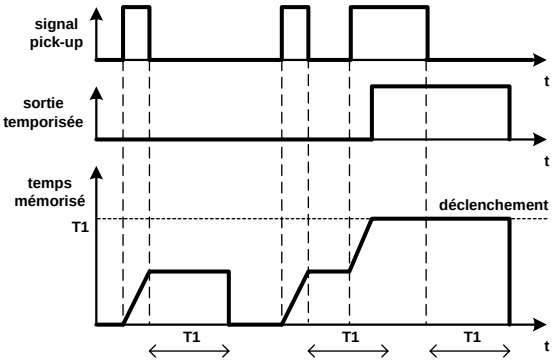
(1) *Déclenchement à partir de 1,2 Is.*

Maximum de puissance wattmétrique homopolaire (PWH)
Code ANSI 32N



Caractéristique de déclenchement de la protection 32N.

Temporisation à temps de maintien (TMD)



Fonctionnement

A partir des informations :

■ courant résiduel "**Ir**", courant mesuré par un tore homopolaire :

$\vec{I}r = \vec{I}1 + \vec{I}2 + \vec{I}3$

(mesuré à l'entrée I0 du relais).

■ tension résiduelle "**Vr**", somme vectorielle des tensions phase-terre :

$\vec{V}r = \vec{V}1 + \vec{V}2 + \vec{V}3$,

(somme calculée des trois entrées tensions simples du relais).

La protection PWH calcule les puissances résiduelles suivantes :

■ puissance active résiduelle : $Pr = |Vr| \times |Ir| \times \cos\varphi$

■ puissance réactive résiduelle : $Qr = |Vr| \times |Ir| \times \sin\varphi$

et positionne le point obtenu dans un plan d'abscisse Pr et d'ordonnée Qr.

Ce plan est partagé en 3 zones de fonctionnement : une zone non détection et 2 zones de détection de défauts : défaut aval et défaut amont :

■ la zone "défaut aval" est destinée à émettre un ordre de déclenchement lors d'un défaut en aval de la protection

■ la zone "défaut amont" est destinée à fournir une information en face avant (led) lors d'un défaut en amont de la protection. Cet affichage local permet de faciliter la mise en œuvre de la protection, lors des essais de mise en service.

Les angles qui définissent la zone de déclenchement du défaut aval correspondent aux équations suivantes :

Zone de déclenchement certain : $\frac{Qr}{Pr} < \sqrt{8}$ (soit un angle de 70,6°)

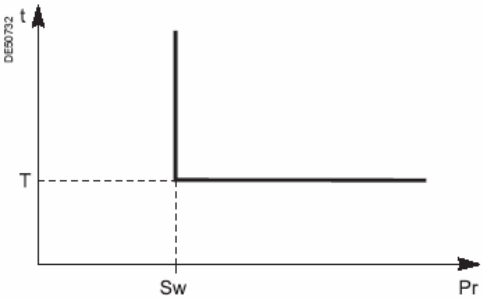
Zone de non déclenchement certain : $\frac{Qr}{Pr} > \sqrt{24}$ (soit un angle de 78,4°).

L'ajout d'une temporisation de maintien (TMD) permet de détecter les défauts récurrents.

La direction de déclenchement peut être paramétrée côté barre ou côté ligne, pour s'affranchir d'une erreur de câblage des secondaires des capteurs TC et TP.

Protection à temps indépendant

Sw correspond au seuil de fonctionnement exprimé en watts (Puissance Primaire), et T correspond au retard de fonctionnement de la protection.

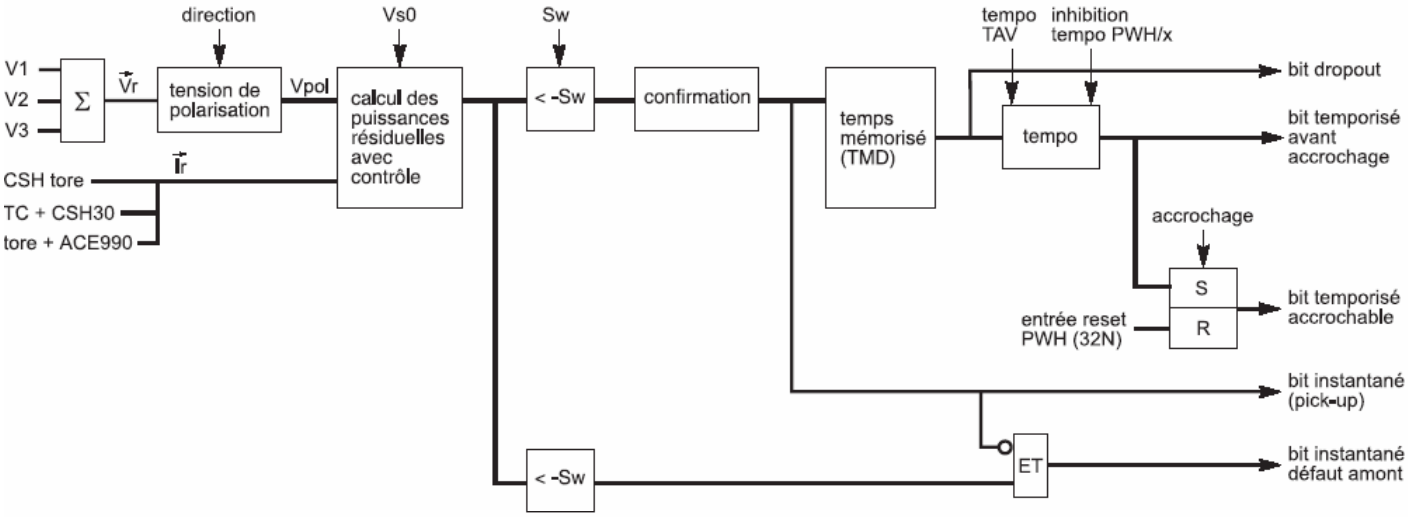


La protection PWH est inhibée si la tension Vr est inférieur au seuil Vs0.

Remarque : La portection 59N (maximum de tension résiduelle) surveille la tension Vr par rapport au seuil d'anomalie Vr (voir documentation liée à cette protection).

Maximum de puissance wattmétrique homopolaire (PWH)
Code ANSI 32N

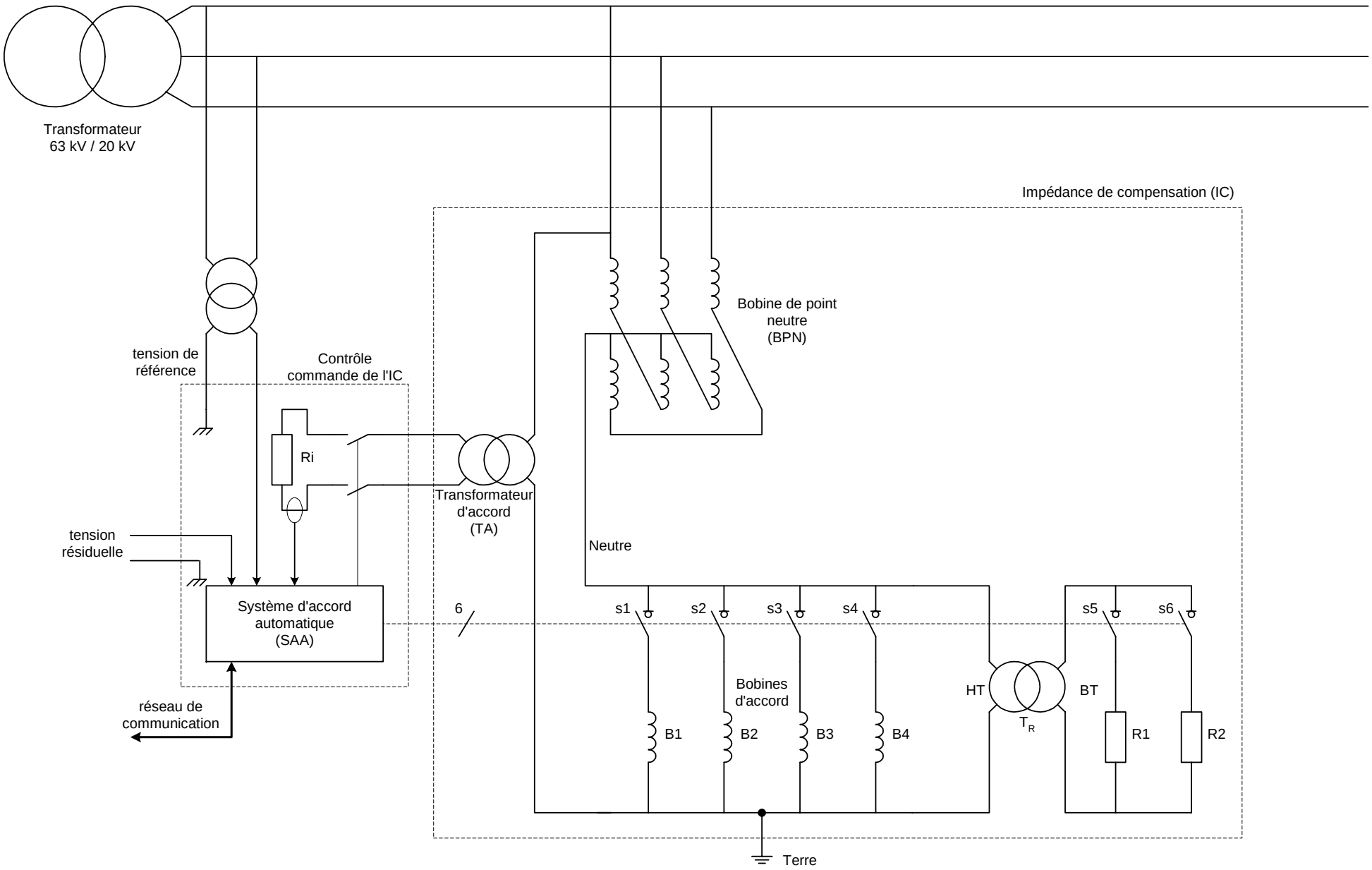
Schéma de principe



Caractéristiques

Angle caractéristiques	
Angle de déclenchement certain	70,6°
Angle de non déclenchement certain	78,4°
Direction de déclenchement	
Réglage	Ligne / barres
Seuil Sw	
Réglage	20, 40, 80, 120 exprimé en kW primaire (1)
Précision	±5 %
Pourcentage de dégagement	90 % ±3 %
Seuil Vso	
Réglage	1 % Unp à 80 % Unp
Résolution	1 %
Précision	±5 %
Temporisation TV	
Réglage	inst, 0,05 s ⩽ T ⩽ 300 s
Résolution	10 ms ou 1 digit
Précision	⩽ 2 % ou -10 ms à +25 ms
Temps mémoire Tomem	
Réglage	100 ms, 200 ms
Précision	⩽ 2 % ou -10 ms à +25 ms
Temps caractéristiques	
Temps de fonctionnement	pick-up < 35 ms
Temps de dépassement	< 35 ms
Temps de retour	< 35 ms + TMD

(1) *La puissance résiduelle est toujours calculée pour une tension primaire de 20 kV.*


Transformateur
63 kV / 20 kV
Impédance de compensation (IC)
Bobine de point
neutre
(BPN)
tension de
référence
Contrôle
commande de l'IC
Ri
Transformateur
d'accord
(TA)
tension
résiduelle
Neutre
Système d'accord
automatique
(SAA)
6
s1
s2
s3
s4
s5
s6
Bobines
d'accord
HT
BT
T_R
B1
B2
B3
B4
R1
R2
réseau de
communication
Terre

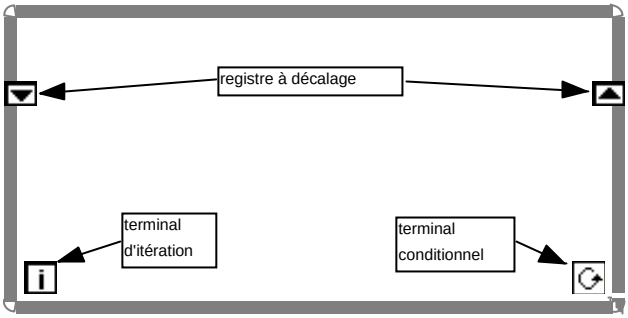
Annexe 3

ANNEXE 4 - PROGRAMMATION GRAPHIQUE - PAGE 1

Type de données des indicateurs et des commandes :

Le tableau ci-dessous présente les symboles pour différents types de terminaux d'indicateurs et de commandes. La couleur et le symbole de chaque terminal indiquent le type de données de la commande ou de l'indicateur.
Les terminaux des commandes possèdent un cadre plus épais que celui des terminaux des indicateurs.

commande	indicateur	Type de données
SGL	SGL	Numérique à virgule flottante simple précision
DBL	DBL	Numérique à virgule flottante double précision
EXT	EXT	Numérique à virgule flottante précision étendue
I8	I8	Numérique entier 8 bits signé
I16	I16	Numérique entier 16 bits signé
I32	I32	Numérique entier 32 bits signé
U8	U8	Numérique entier 8 bits non signé
U16	U16	Numérique entier 16 bits non signé
U32	U32	Numérique entier 32 bits non signé
TF	TF	Booléen



Structure de programmation :

Boucles While :

Comme une boucle "do" ou une boucle "repeat-until" (répéter jusqu'à...) dans les langages de programmation textuels, une boucle While exécute un sous diagramme jusqu'à ce qu'une condition soit remplie.

Terminal conditionnel :

La boucle While exécute le sous diagramme jusqu'à ce que le terminal conditionnel, un terminal d'entrée, reçoive une valeur booléenne spécifique. Le comportement par défaut et l'apparence du terminal conditionnel correspondent à *Continuer sur condition Vraie*. Lorsqu'un terminal conditionnel est réglé sur *Continuer sur condition Vraie*, la boucle While exécute son sous diagramme jusqu'à ce que le terminal conditionnel reçoive une valeur FAUX. Comme le programme vérifie le terminal conditionnel à la fin de chaque itération, la boucle While s'exécute toujours au moins une fois.

Terminal d'itération :

Le terminal d'itération (terminal de sortie) contient le nombre d'itérations ayant eu lieu. Le décompte des itérations démarre toujours à zéro. Pendant la première itération, le terminal d'itération retourne 0.

ANNEXE 4 - PROGRAMMATION GRAPHIQUE - PAGE 2

Registres à décalage dans des boucles :

Utilisez les registres à décalage sur les boucles For et While pour transférer des valeurs d'une itération de la boucle à la suivante. Un registre à décalage apparaît sous la forme d'une paire de terminaux directement à l'opposé l'un de l'autre sur les côtés verticaux du cadre de la boucle. Le terminal de droite contient une flèche vers le haut et stocke les données à la fin d'une itération. LabVIEW transfère les données connectées à la droite du registre jusqu'à l'itération suivante. Un registre à décalage transfère tout type de données et les change automatiquement dans le type de données du premier objet câblé au registre à décalage. Les données câblées aux terminaux de chaque registre à décalage doivent être du même type.
Après l'exécution de la boucle, la dernière valeur stockée dans le registre à décalage reste dans le terminal droit. Si vous câblez le terminal à l'extérieur de la boucle, le fil de liaison transfère la dernière valeur stockée dans le registre à décalage.
Si vous n'initialisez pas le registre, la boucle utilise la valeur écrite sur le registre lors de sa dernière exécution ou la valeur par défaut du type de données si la boucle n'a jamais été exécutée.
Utilisez une boucle avec un registre à décalage non initialisé pour exécuter un programme de façon répétitive de sorte qu'à chaque exécution du VI, la sortie initiale du registre à décalage soit égale à la dernière valeur de l'exécution précédente. Laissez l'entrée du registre à décalage gauche non câblée pour qu'un registre à décalage non initialisé préserve les informations d'état entre les exécutions ultérieures d'un programme.

Fonctions de programmation :

fonction	graphique
Utilisez la **constante numérique** pour passer une valeur numérique constante au diagramme.	40, 0,7
Additionner Calcule la somme des entrées	x y + x+y
Soustraire Calcule la différence des entrées	x y − x-y
Diviser Calcule le quotient des entrées	x y ÷ x/y
Incrémenter Ajoute 1 à la valeur d'entrée. Si l'entrée est une énumération, la fonction affiche la sortie sur plusieurs lignes	x +1 x+1
Décrémenter Soustrait 1 de la valeur d'entrée. Si l'entrée est une énumération, la fonction affiche la sortie sur plusieurs lignes	x -1 x-1
Supérieur ou égal ? Retourne VRAI si x est supérieur ou égal à y. Sinon, cette fonction retourne FAUX	x y ≥ x >= y?
Inférieur ou égal ? Retourne VRAI si x est inférieur ou égal à y. Sinon, cette fonction retourne FAUX	x y ≤ x <= y?
Différents ? Retourne VRAI si x est différent de y. Sinon, cette fonction retourne FAUX. Cette fonction accepte des nombres complexes.	x y ≠ x != y?
Sélectionner Retourne la valeur connectée à l'entrée t ou f, en fonction de la valeur de s. Si s est VRAI, cette fonction retourne la valeur connectée à t. Si s est FAUX, cette fonction retourne la valeur connectée à f.	cas vrai sélecteur cas faux valeur sélectionnée

Document 1 - Questions QB27 et QB28

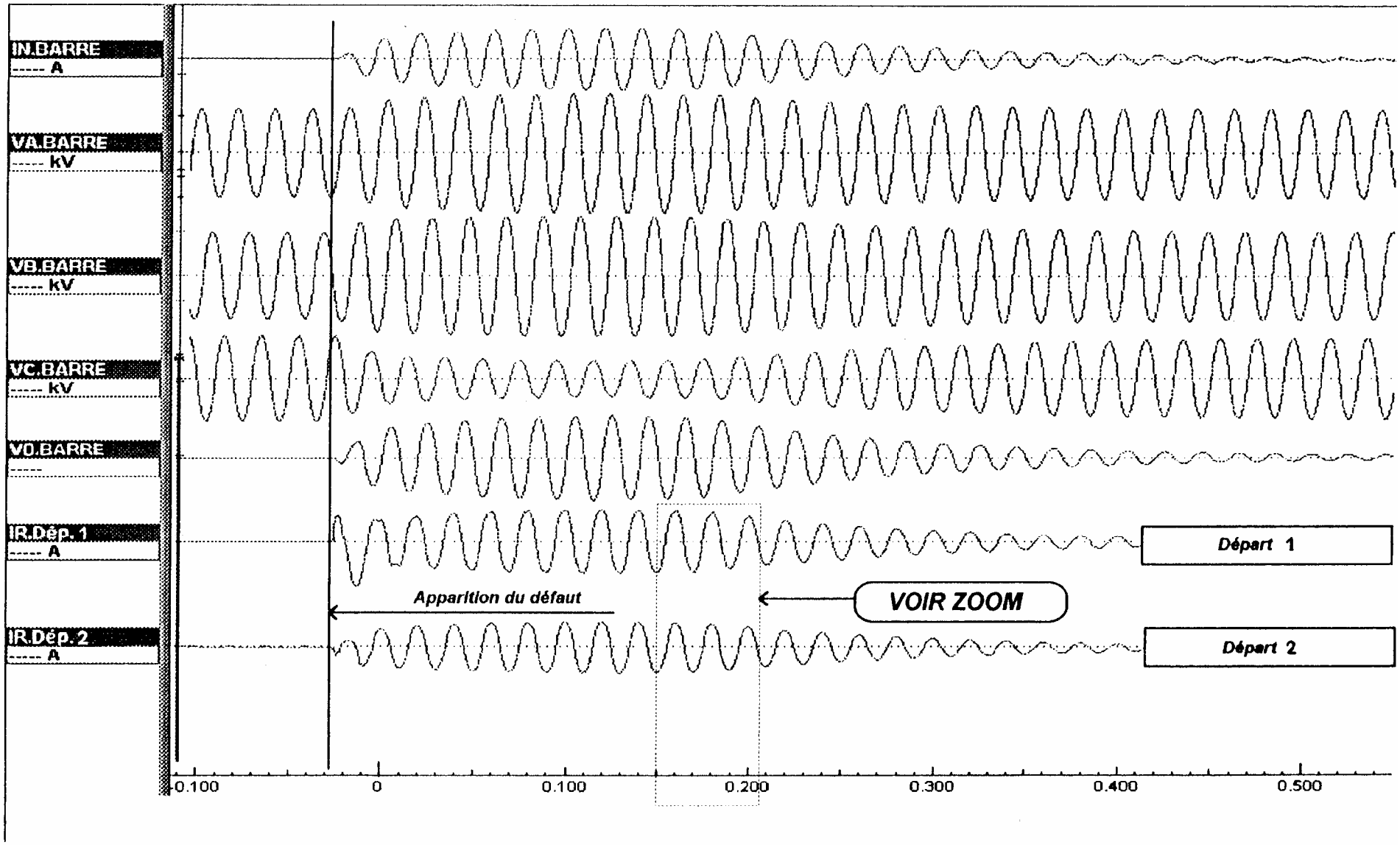


Figure 2 : Enregistrement d'un défaut auto - extincteur résistant (vue globale)

Document 2 - Questions QB27 et QB28

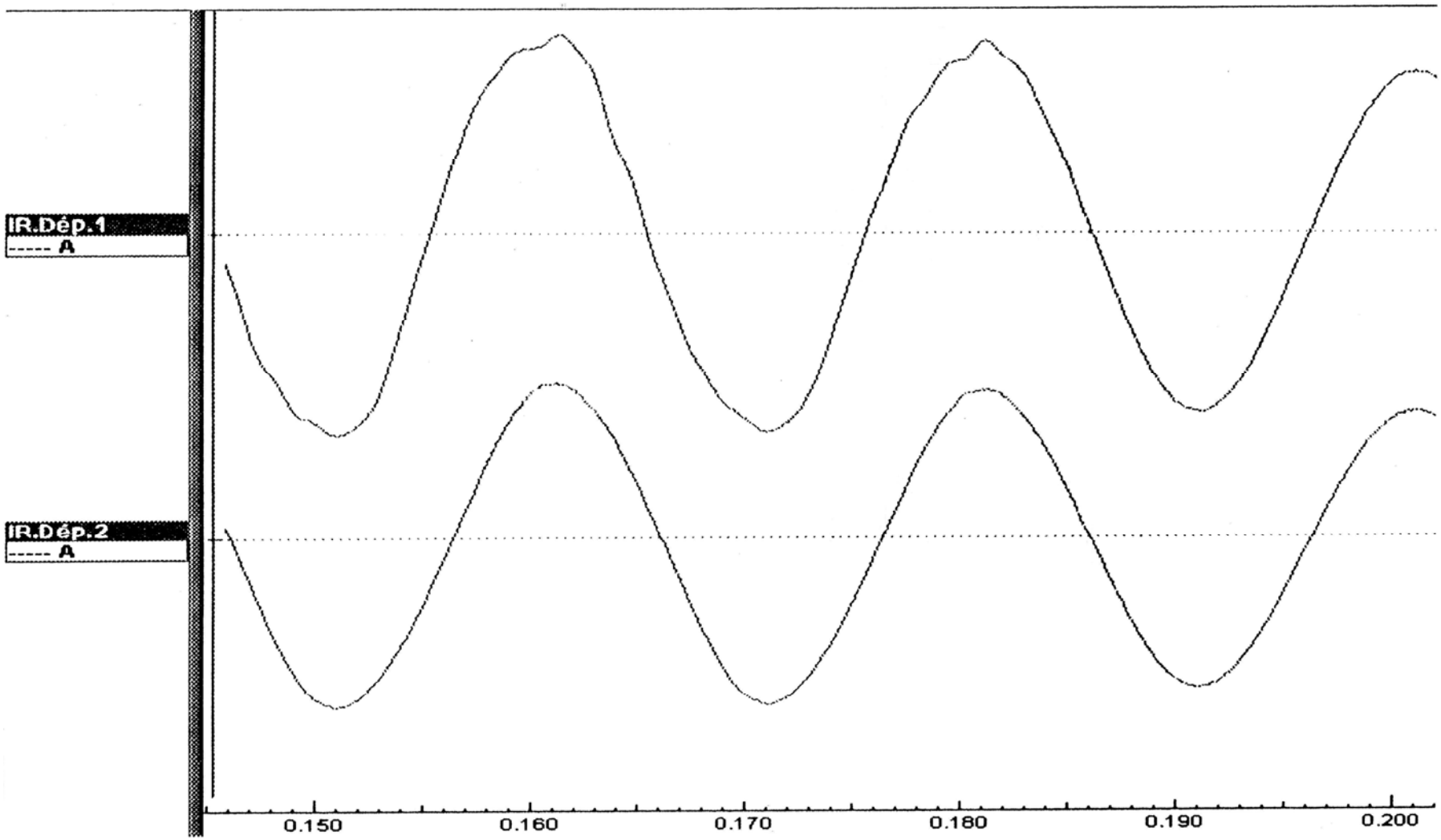


Figure 3 : Enregistrement de défaut auto - extincteur résistant (ZOOM)

LES RESEAUX A NEUTRE COMPENSE

DOCUMENTS REPONSES

DOCUMENT RÉPONSE DRQA11..... **1 page**

DOCUMENT RÉPONSE DRQA15..... **1 page**

DOCUMENT RÉPONSE DRQA17..... **1 page**

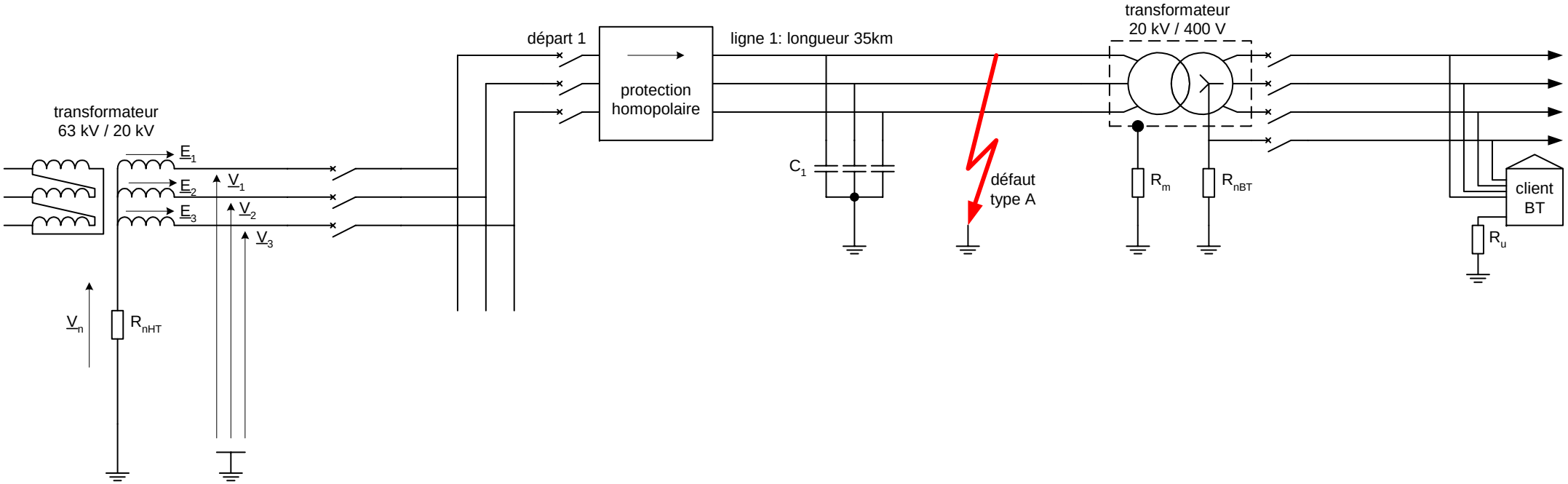
DOCUMENT RÉPONSE DRQB29-30-31-32 ..... **1 page**

DOCUMENT RÉPONSE DRQC2-3-13-14 ..... **1 page**

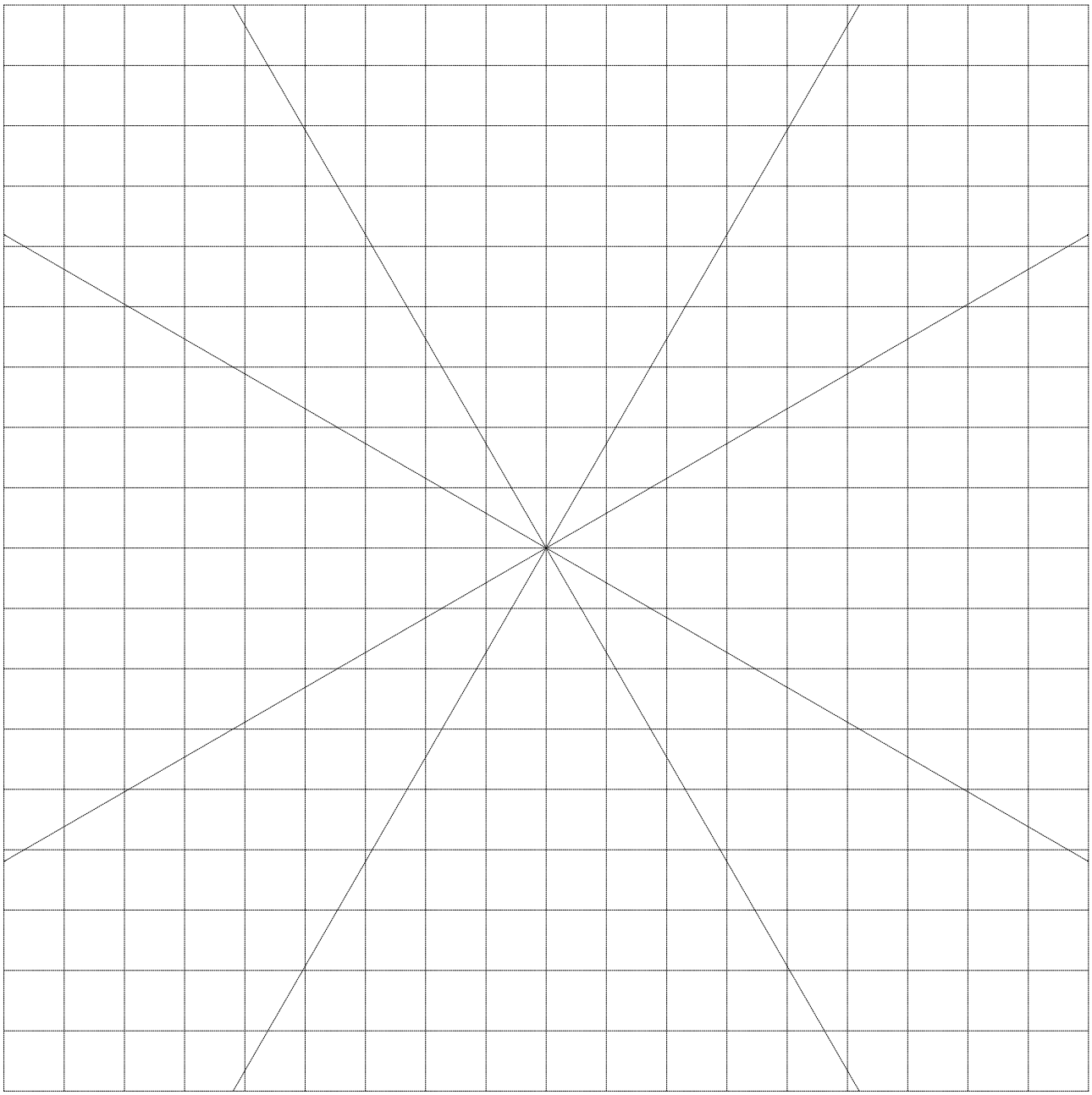
DOCUMENT RÉPONSE DRQC5 et DRQC6 ..... **1 page**

DOCUMENT RÉPONSE DRQC22..... **1 page**

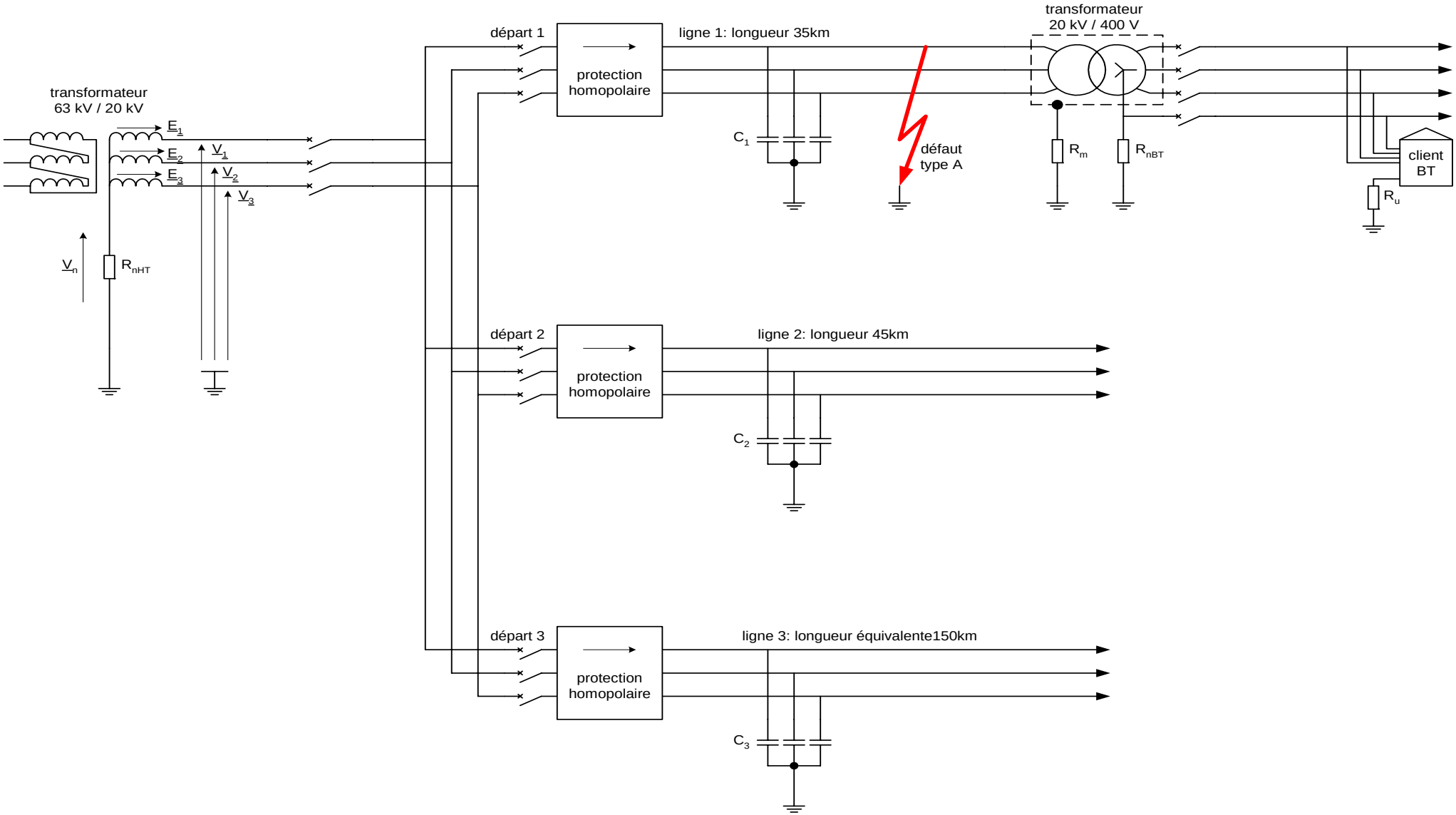
Document réponse DRQA11



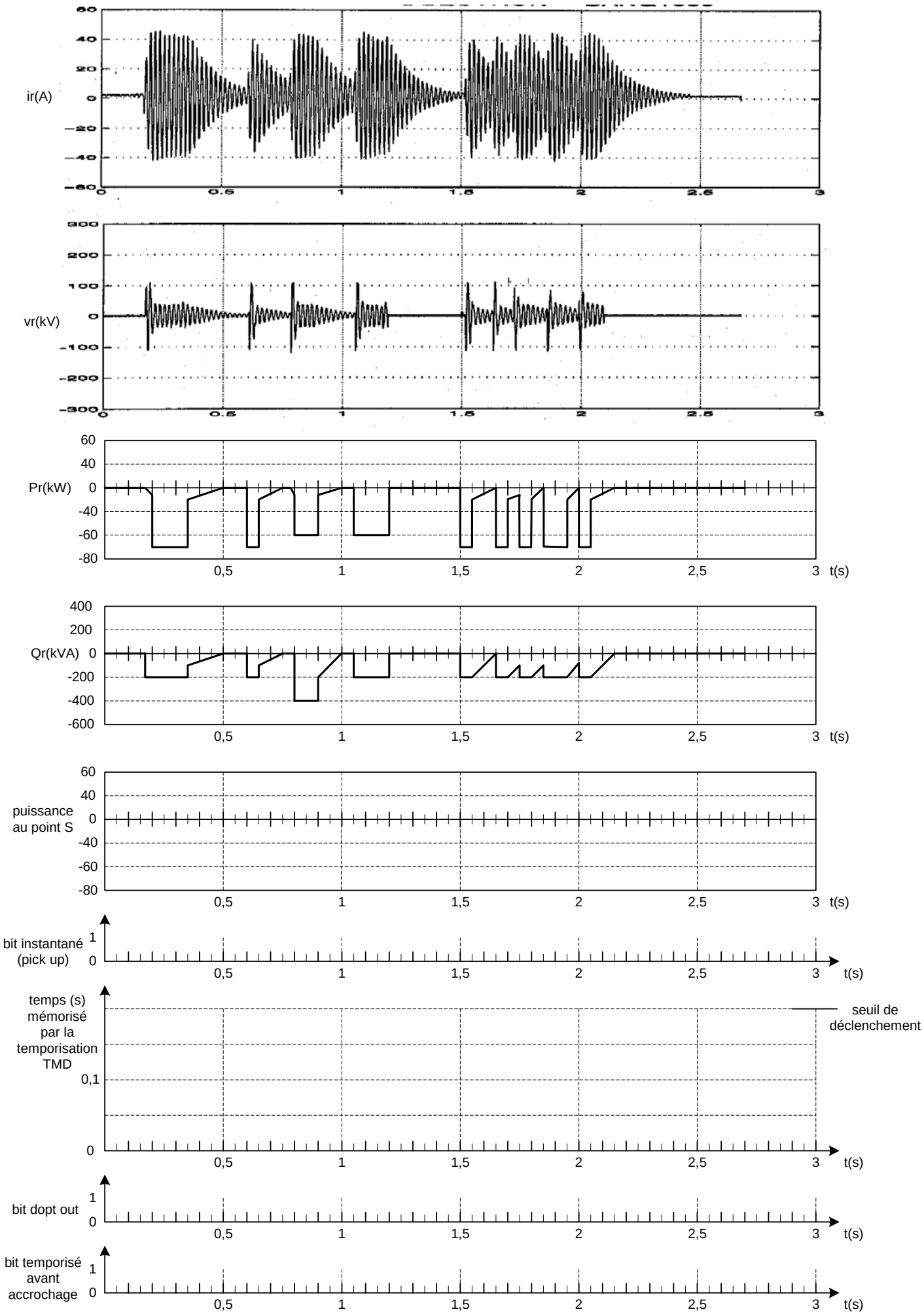
Document réponse DRQA15



Document réponse DRQA17



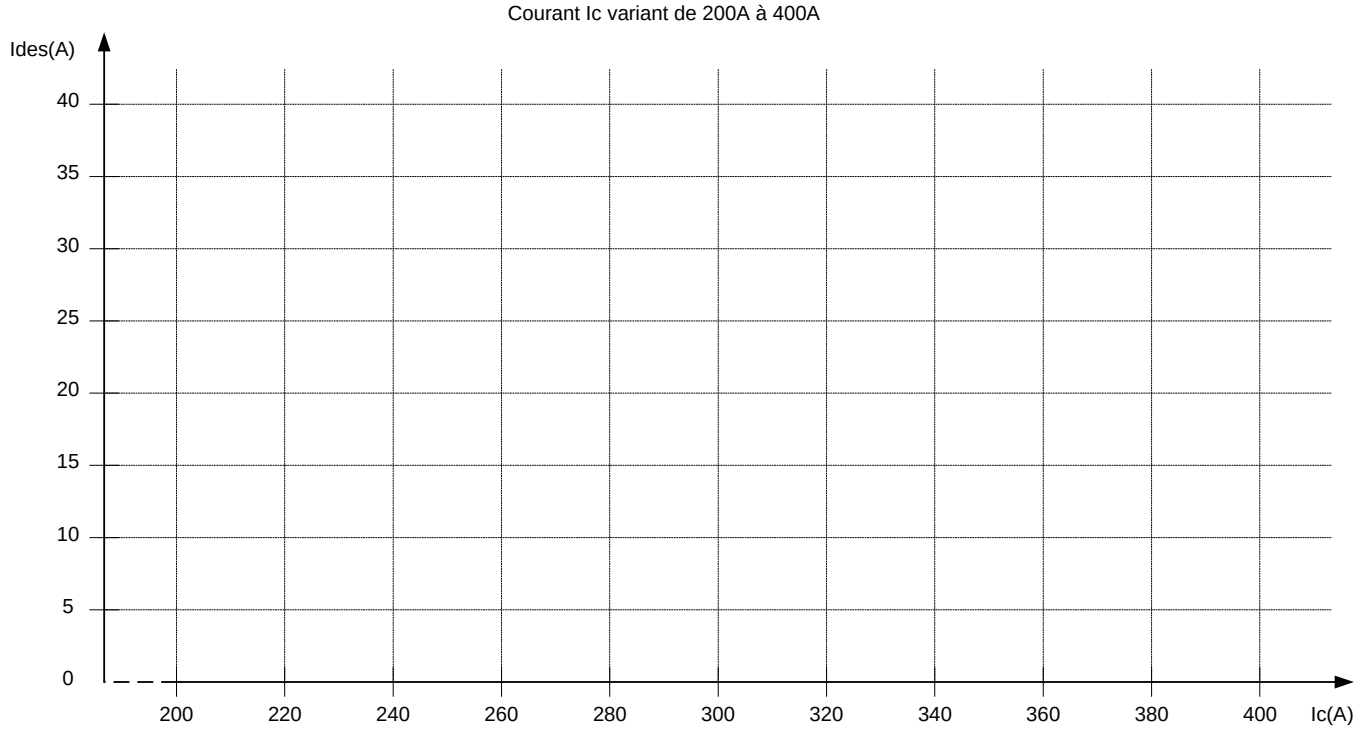
Document réponse DRQB29-30-31-32



Document réponse DRQC2-3-13-14

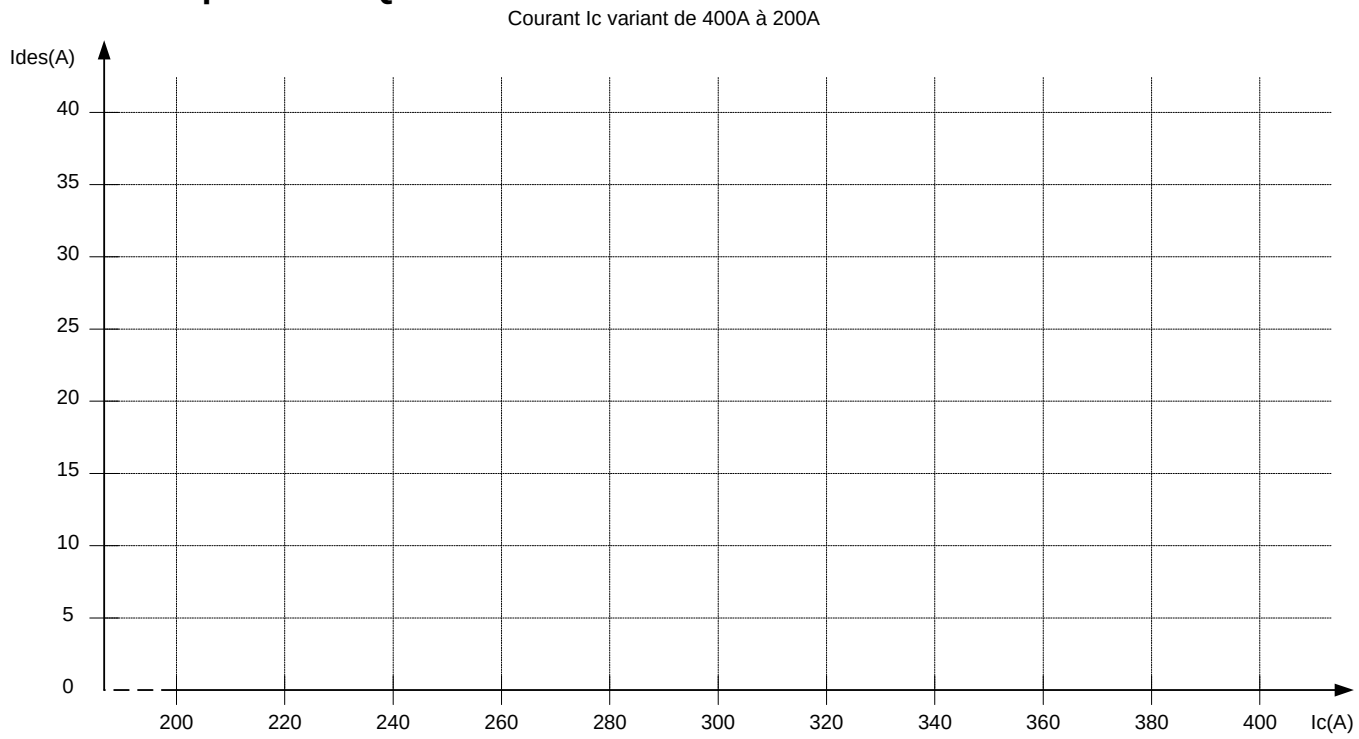
Question QC2			Question QC3				Question QC13	Question QC14	
N° de configuration	Courant de compensation (A)	Plage de fonctionnement (A)	S1	S2	S3	S4	Plage de résistance (Ω)	S5	S6
1	40								
2									
3									

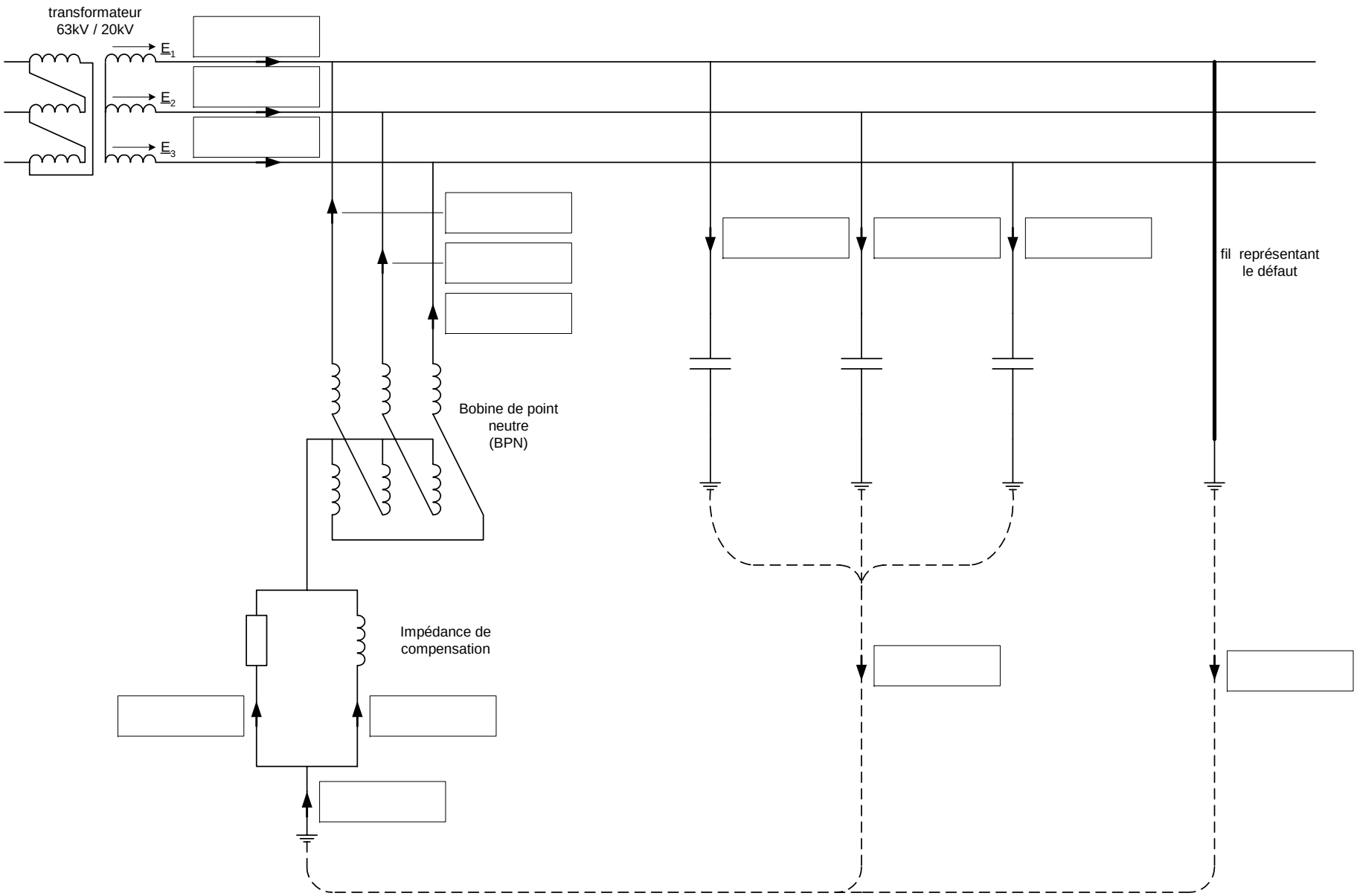
Document réponse DRQC5



N° configuration	
Courant de compensation (A)	

Document réponse DRQC6



N° configuration	
Courant de compensation (A)	

Document réponse DRQC22