

IV.1. Introduction

Ce chapitre est consacré à la simulation des différents types de sélectivité : la sélectivité ampérométrique, la sélectivité chronométrique et la sélectivité logique à câble pilote et la sélectivité logique à CPL. Pour donner un aperçu sur les avantages et inconvénients de chaque sélectivité nous avons étudié un exemple de réseau électrique à deux niveaux de protections. Egalement un exemple à quatre niveaux de protections à sélectivité logique à câble pilote et sélectivité chronométrique été traité. L'environnement de simulation étant le programme Simulink de Matlab. Dans cet étude nous traitons les exemples parfois avec teste de défaut et d'autres fois avec défaut de défaillance de disjoncteur.

IV.2. Protection à max de courant

◆ Schéma de principe.

La Figure IV.1 est représenté schéma synoptique d'une de protection à max de courant.

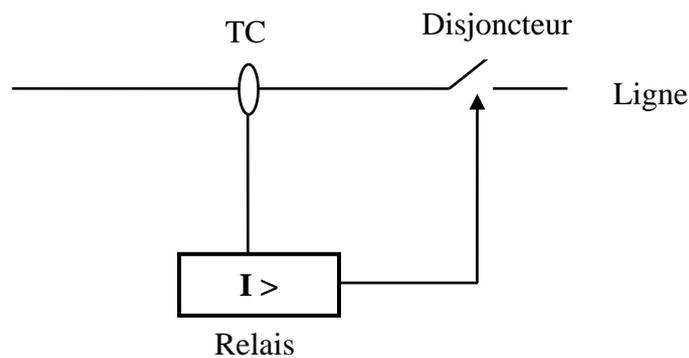


Figure IV.1. Schéma de principe d'une protection à max de courant.

◆ Simulation de la protection à max de courant

La Figure IV.2 est montre le schéma de simulation de la protection à max de courant.

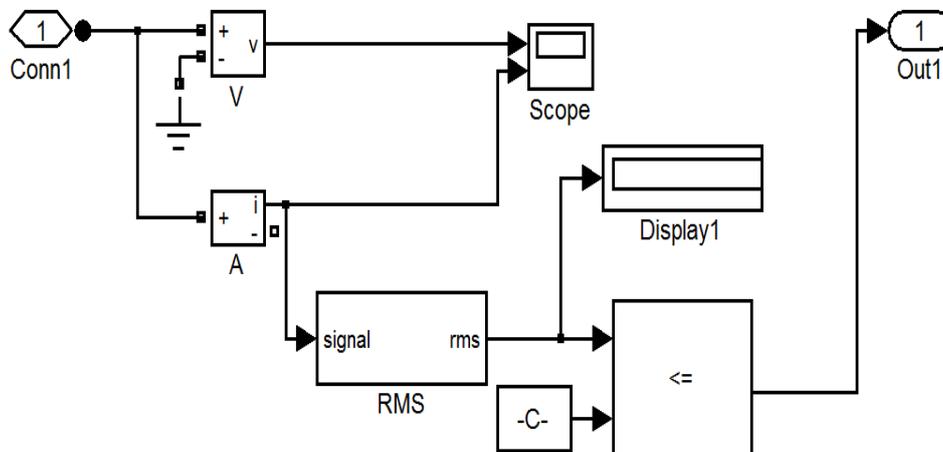


Figure IV.2. Schéma de simulation du relais.

IV.3. Description de l'exemple d'étude

Soit le réseau électrique triphasé à deux niveaux des protections A et B (Figure IV.3). Tels que :

- ◆ Source : $V_s = 220 \text{ v}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $R_s = 1.5 \Omega$, $L_s = 10^{-4} \text{ H}$.
- ◆ Lignes : $R_l = 5 \Omega$, $L_l = 10^{-5} \text{ H}$.
- ◆ Charges (1 et 2) : $R_{ch} = 50 \Omega$, $L_{ch} = 10^{-4} \text{ H}$.
- ◆ (1) et (2) : défauts de court-circuit.
- ◆ Relais à maximum de courant :

I_{dA} , I_{dB} : seuils de déclenchement des relais A et B.

t_{dA} , t_{dB} : temporisations des relais A et B.

Dans le cas d'un fonctionnement normal (sans défaut) on a les courants suivants :

$I_{Aeff} = 5.604 \text{ A}$ et $I_{Beff} = 2.668 \text{ A}$.

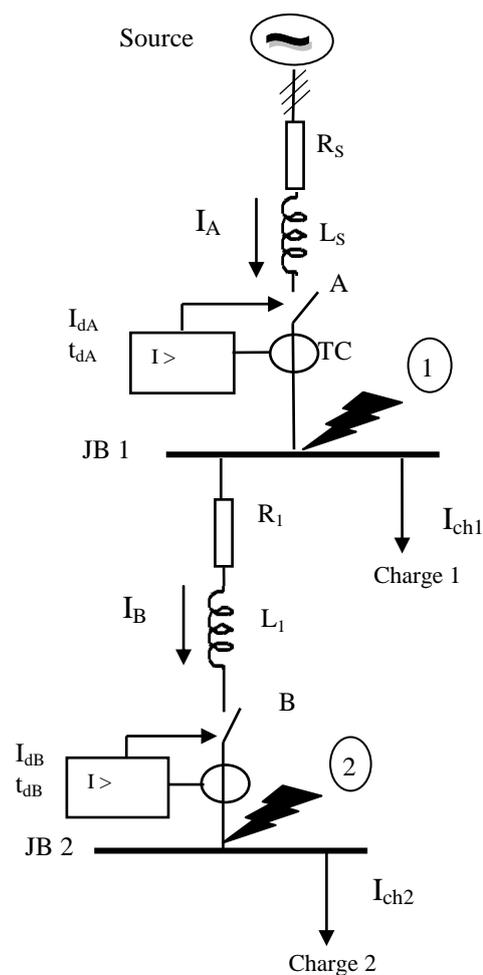


Figure IV.3. Exemple d'étude.

IV.4. Résultats de la simulation

IV.4.1. Simulation du réseau en état sain

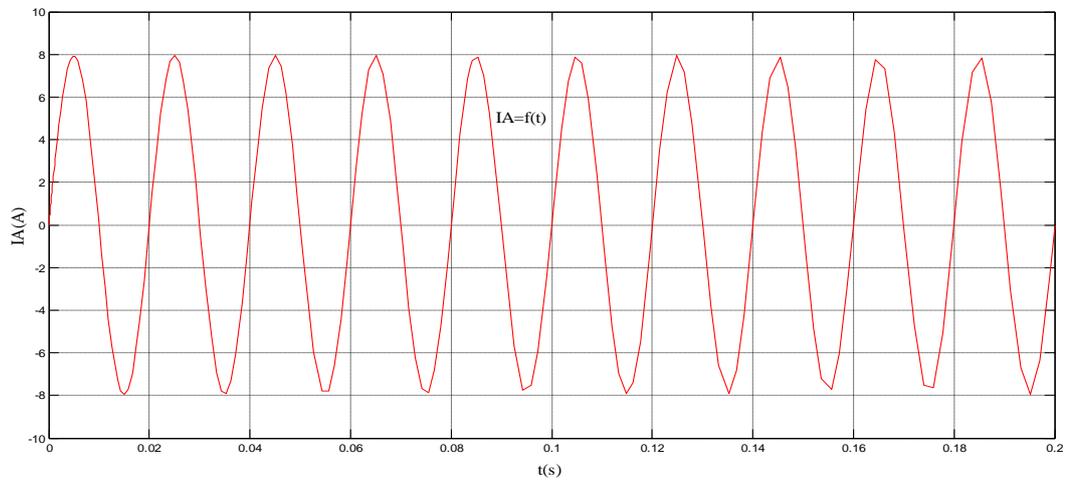


Figure IV.4. Courant du disjoncteur A.

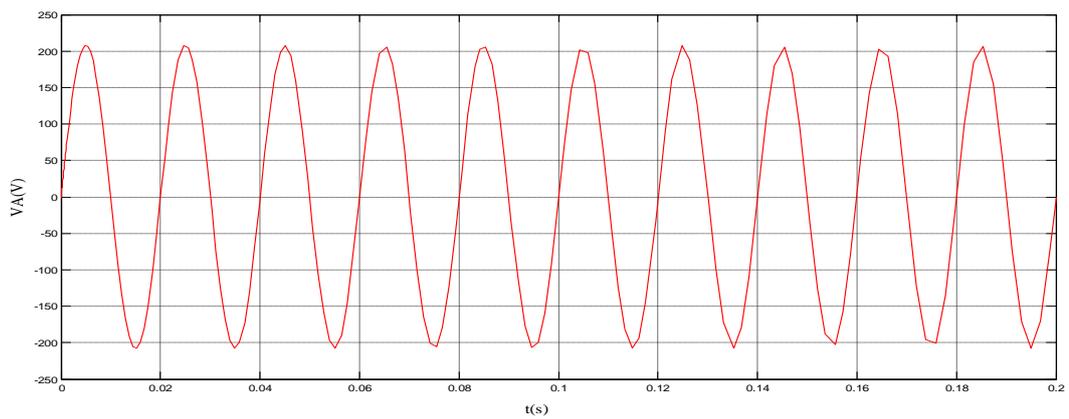


Figure IV.5. Tension du disjoncteur A.

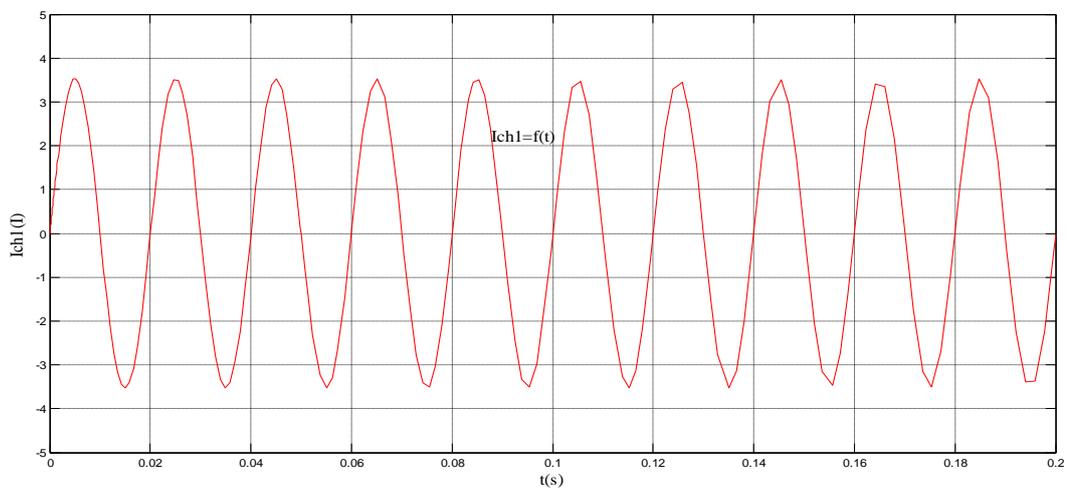


Figure IV.6. Courant de la charge1 (I_{ch1}).

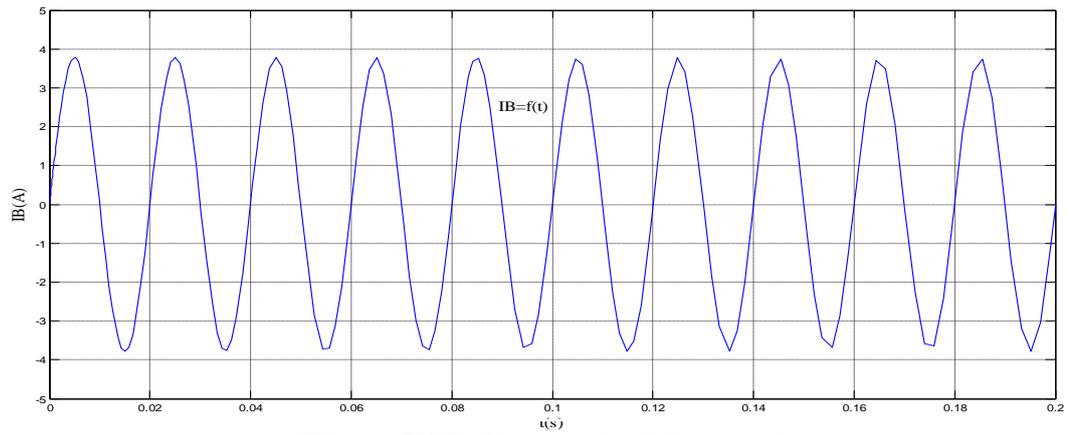


Figure IV.7. Courant du disjoncteur B.

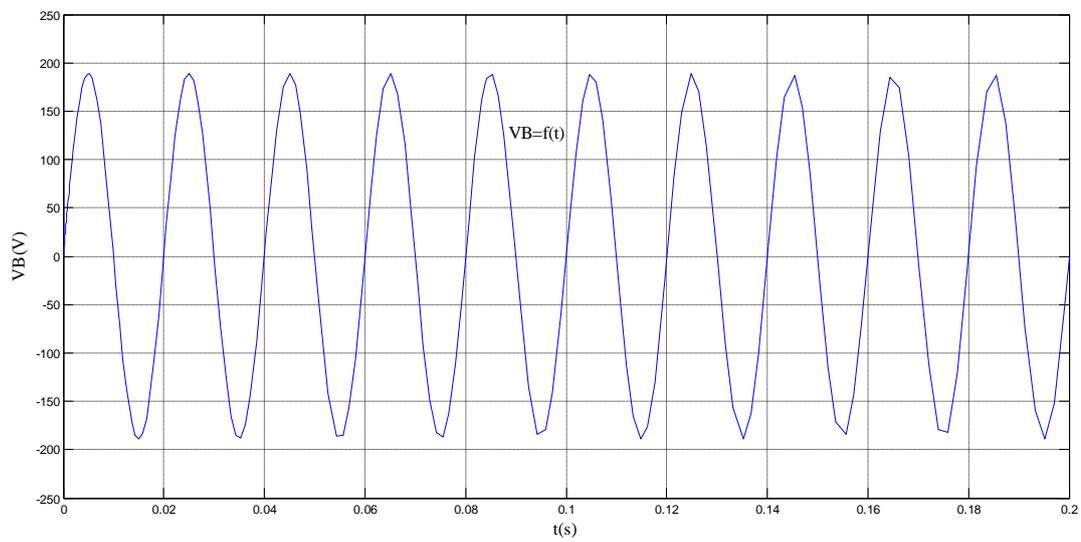


Figure IV.8. Tension du disjoncteur B.

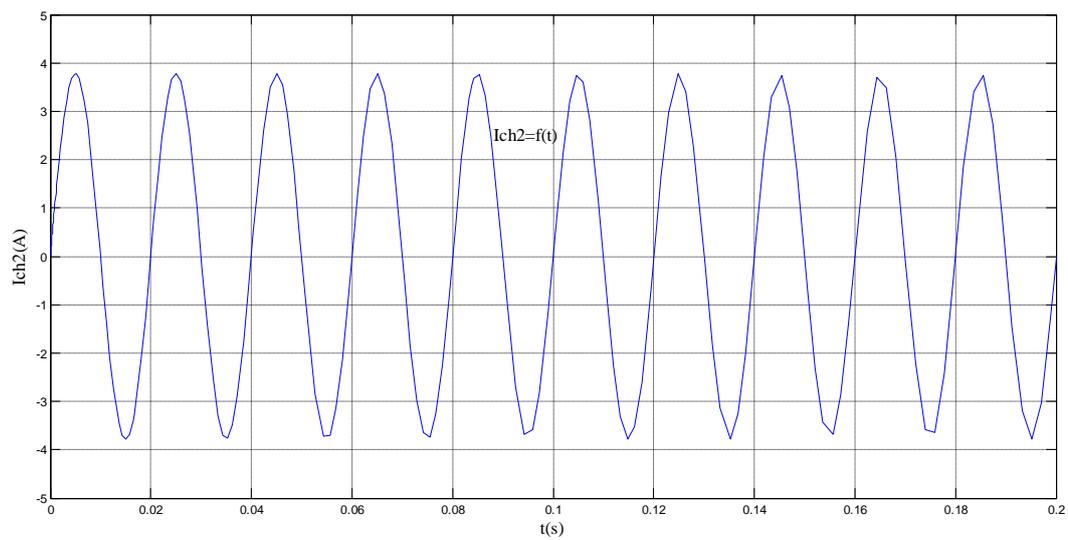


Figure IV.9. Courant de la charge 2 (I_{ch2}).

IV.4.2. Simulation de la sélectivité ampérométrique

Dans ce type de sélectivité, les seuls seuils de déclenchement des protections constituent les paramètres à régler.

◆ Réglage de I_{dA} (seuil du relais A) : La formule utilisée est: $I_{dA} = 0.8 * I_{CC_{Amin}}$.

Avec $I_{CC_{Amin}}$ est le courant de CC établi suite à l'apparition du défaut (1).

Alors : $I_{CC_{Amin}} = 27.8 \text{ A}$.

Soit : $I_{dA} = 22.24 \text{ A}$.

De même : $I_{dB} = 0.8 * I_{CC_{Bmin}}$.

On considère le défaut (2), on trouve : $I_{CC_{Bmin}} = 23.29 \text{ A}$.

Et le seuil du relais B est $I_{dB} = 18.63 \text{ A}$.

On constate que $I_{dB} < I_{dA}$. En effet, cette dernière inégalité constitue la caractéristique principale d'une protection à sélectivité ampérométrique.

Le schéma de simulation réalisé sous Simulink de Matlab est montré sur la Figure IV.10.

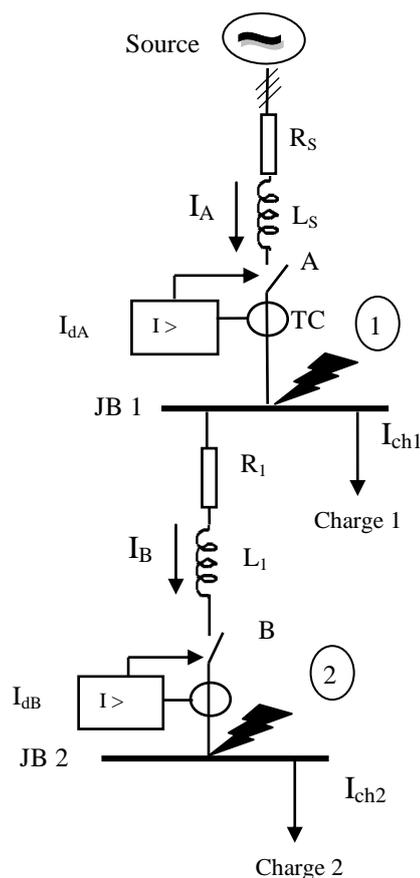


Figure IV.10. Sélectivité ampérométrique.

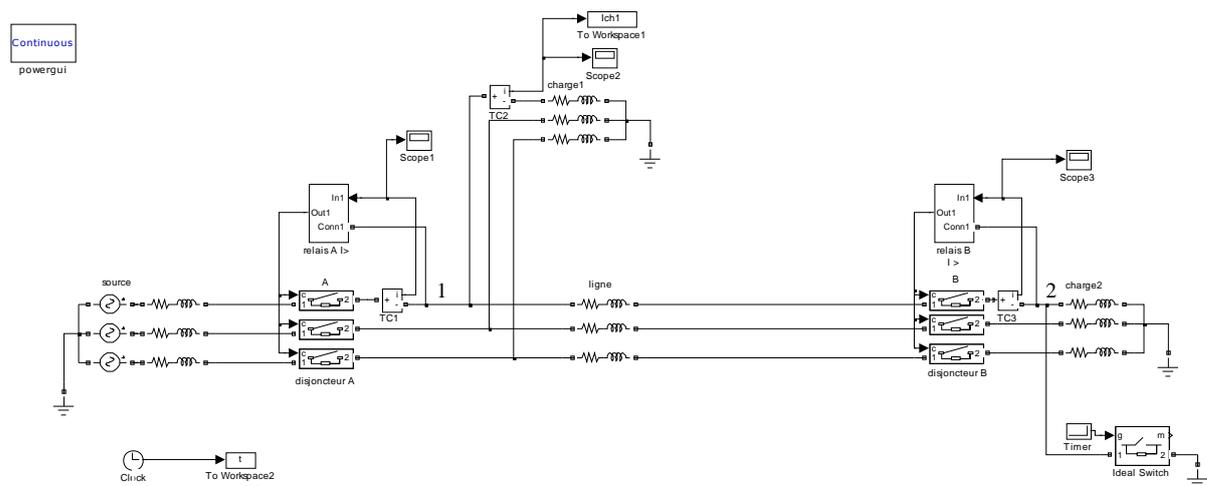


Figure IV.11. Schéma de simulation de la sélectivité ampérométrique pour un réseau à deux niveaux de protection.

IV.4.2.1. Simulation avec la présence du défaut (1)

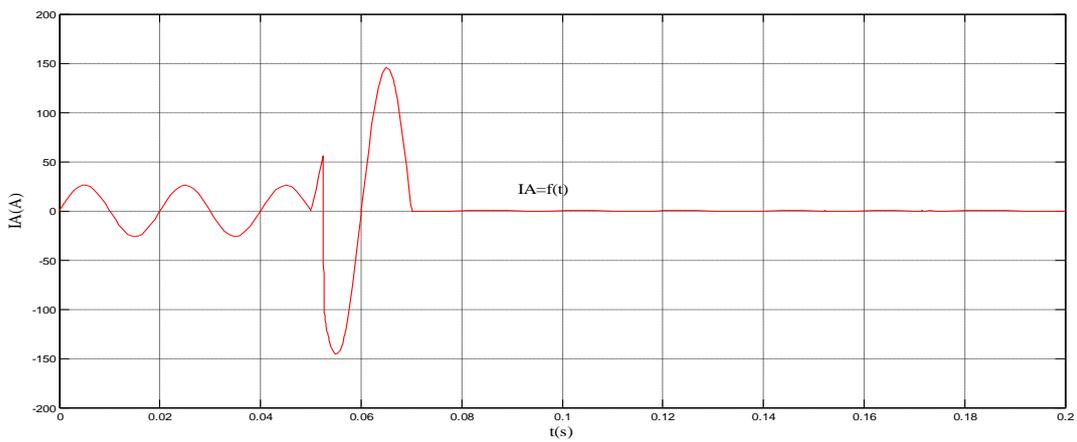


Figure IV.12. Courant du disjoncteur A avec le défaut (1).

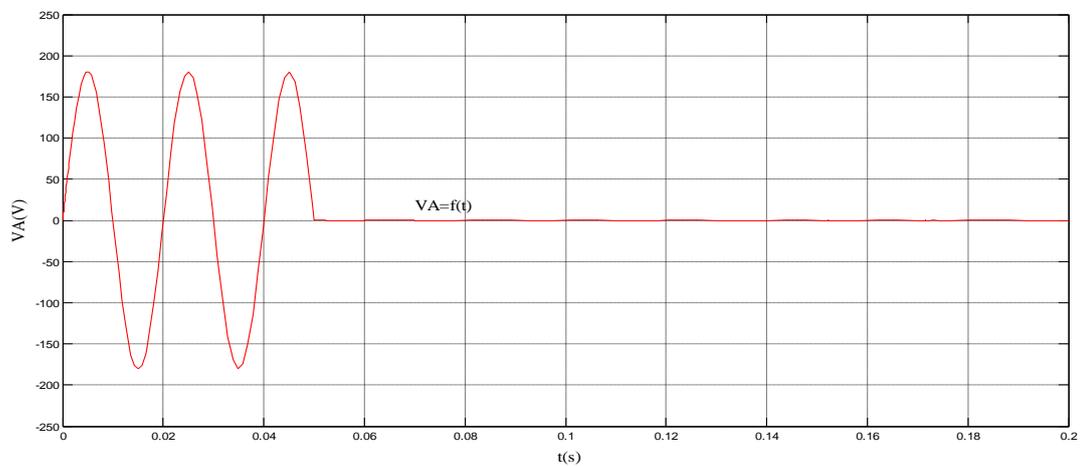


Figure IV.13. Tension du disjoncteur A avec le défaut (1).

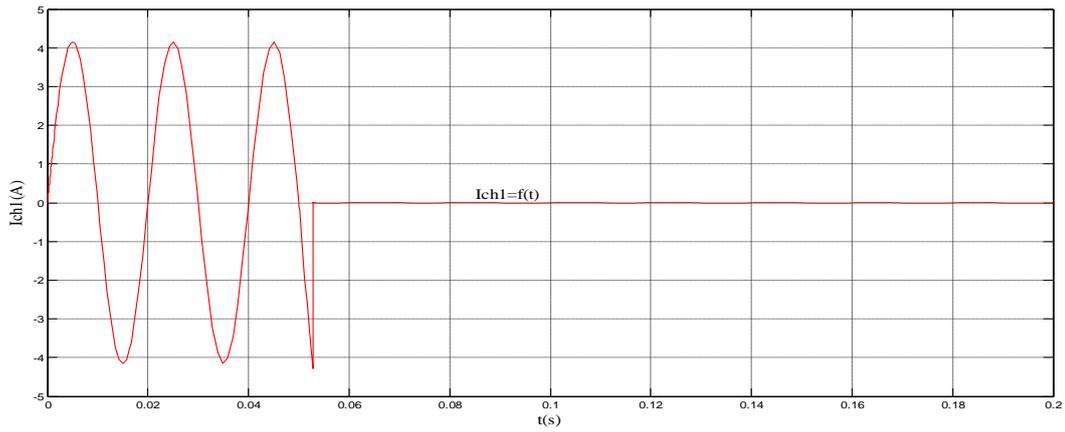


Figure IV.14. Courant de la charge 1 (I_{ch1}) avec le défaut (1).

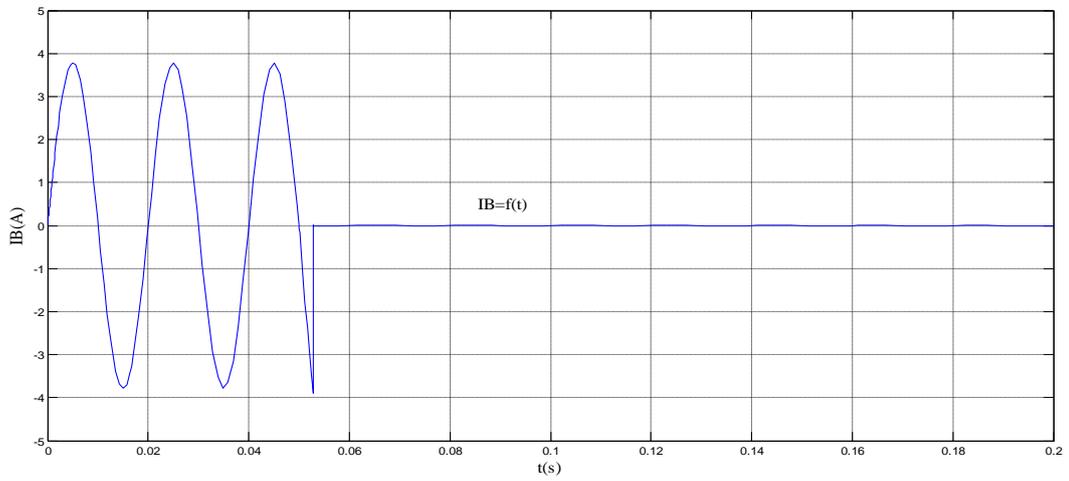


Figure IV.15. Courant du disjoncteur B avec le défaut (1).

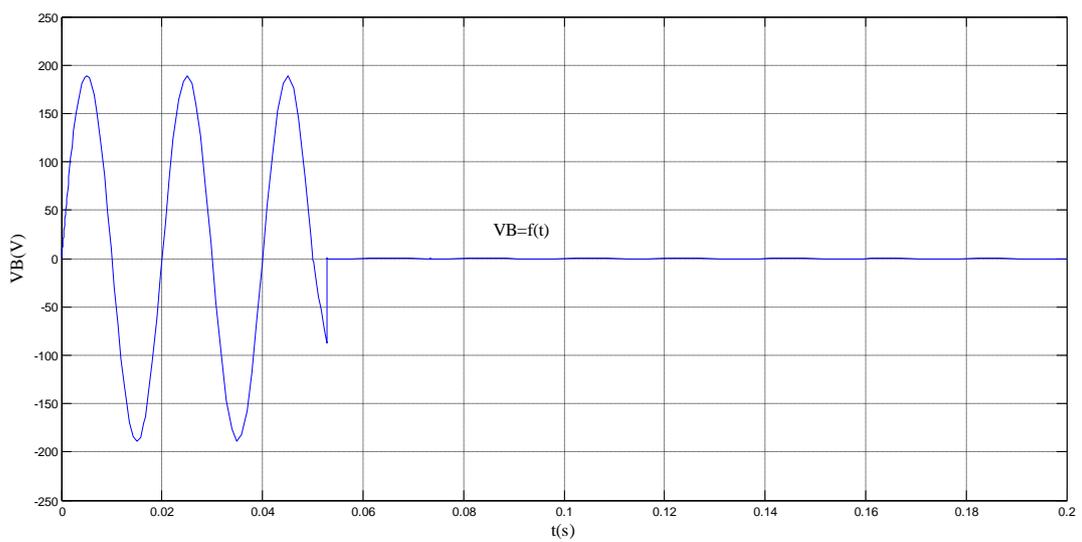


Figure IV.16. Tension du disjoncteur B avec le défaut (1).

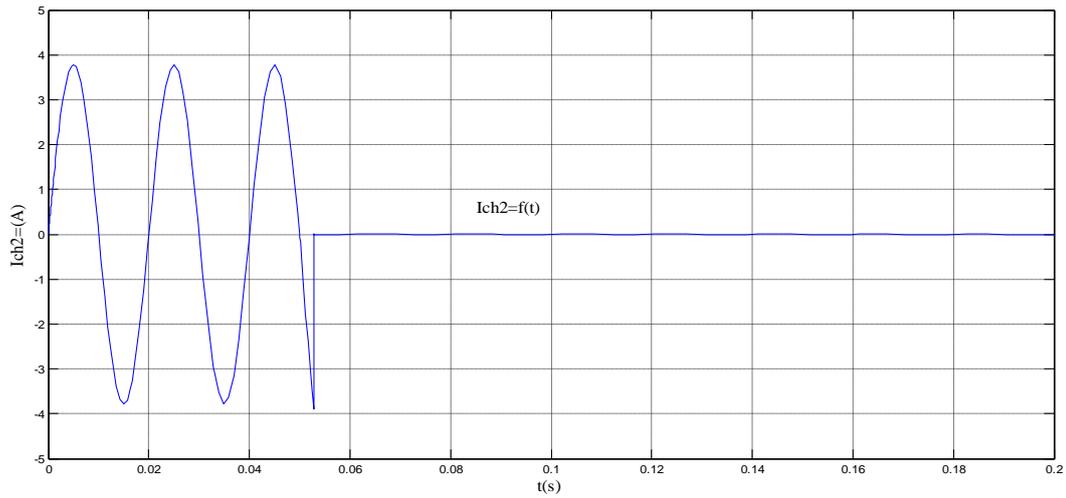


Figure IV.17. Courant de la charge 2 (I_{ch2}) avec le défaut (1) .

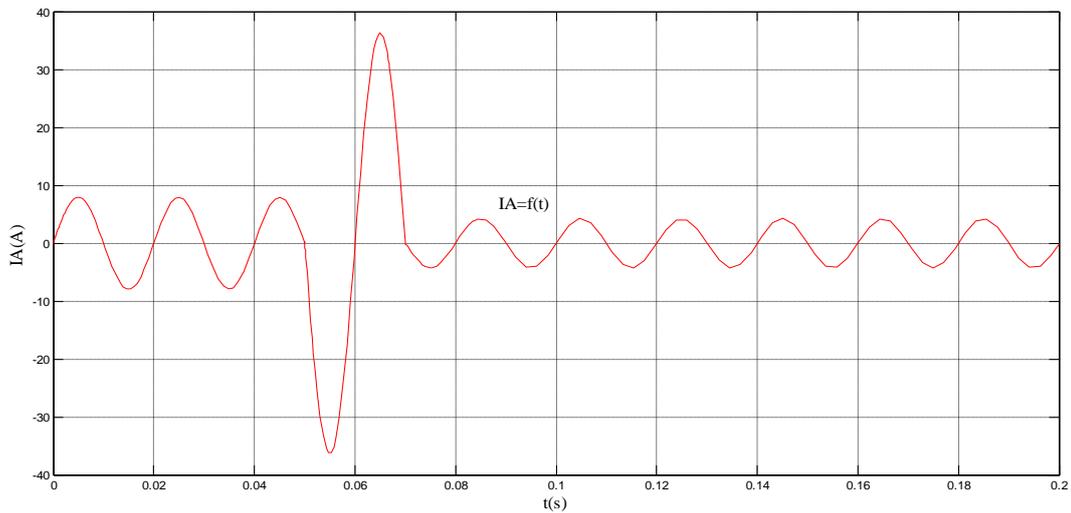


Figure IV.18. Courant du disjoncteur A avec le défaut (2) .

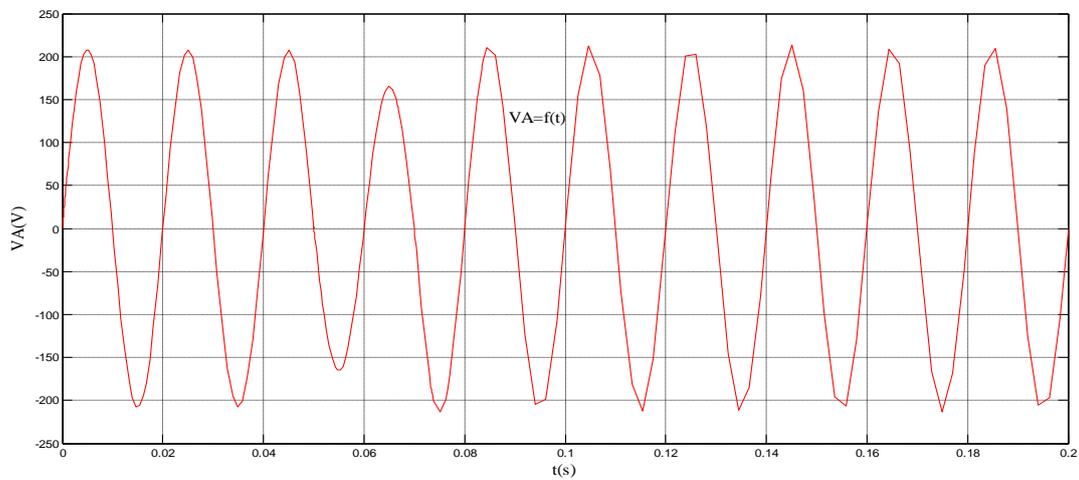


Figure IV.19. Tension du disjoncteur A avec le défaut (2) .

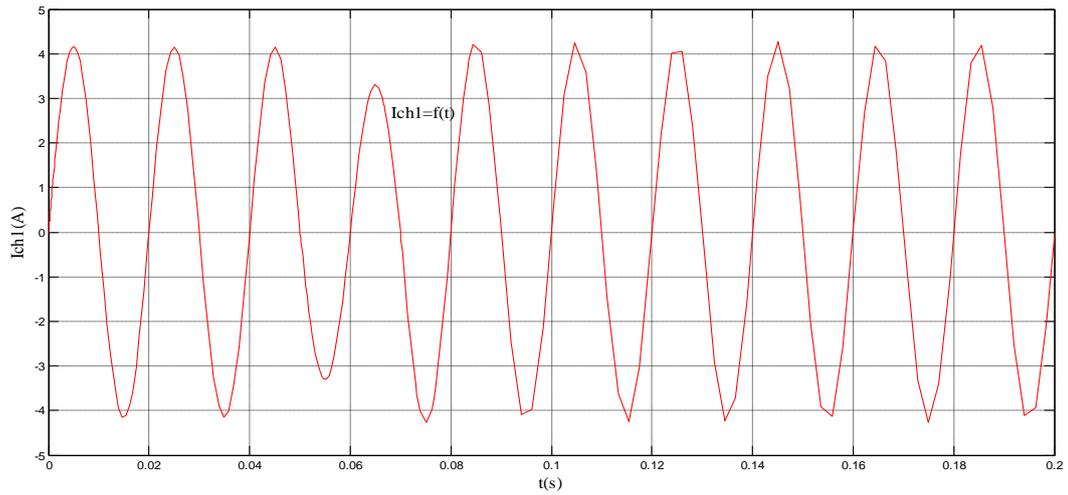


Figure IV.20. Courant de la charge 1 (I_{ch1}) avec le défaut (2).

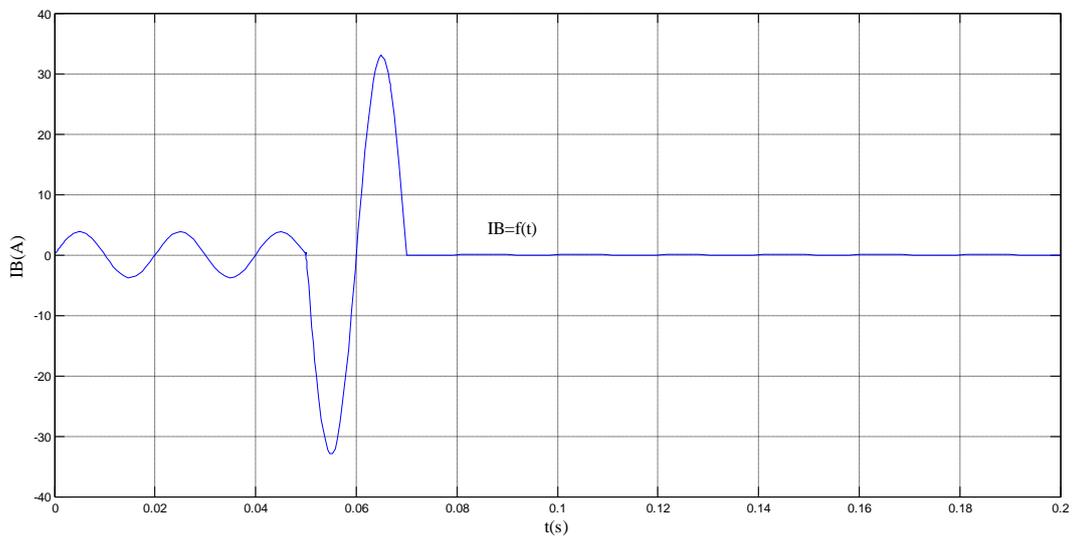


Figure IV.21. Courant du disjoncteur B avec le défaut (2).

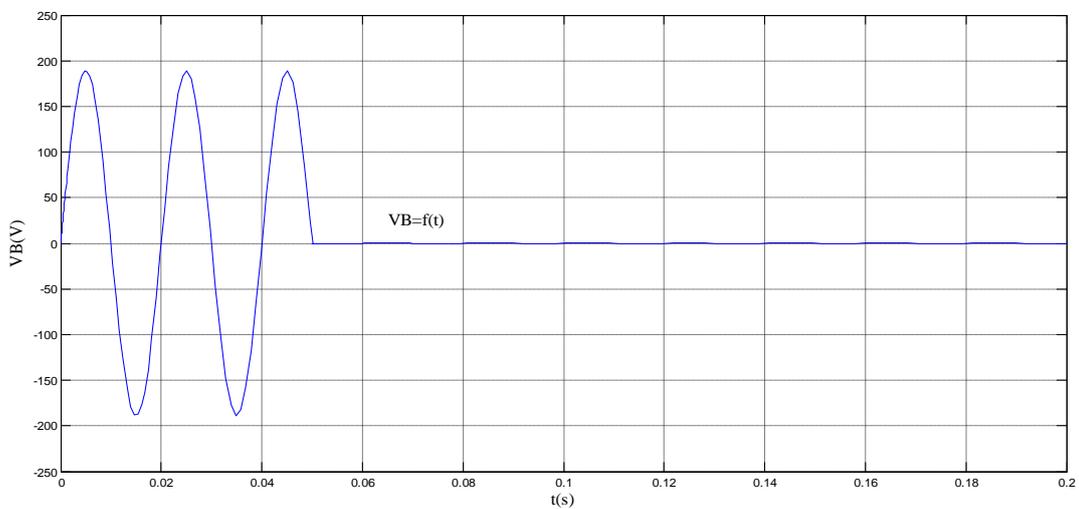


Figure IV.22. Tension du disjoncteur B avec le défaut (2).

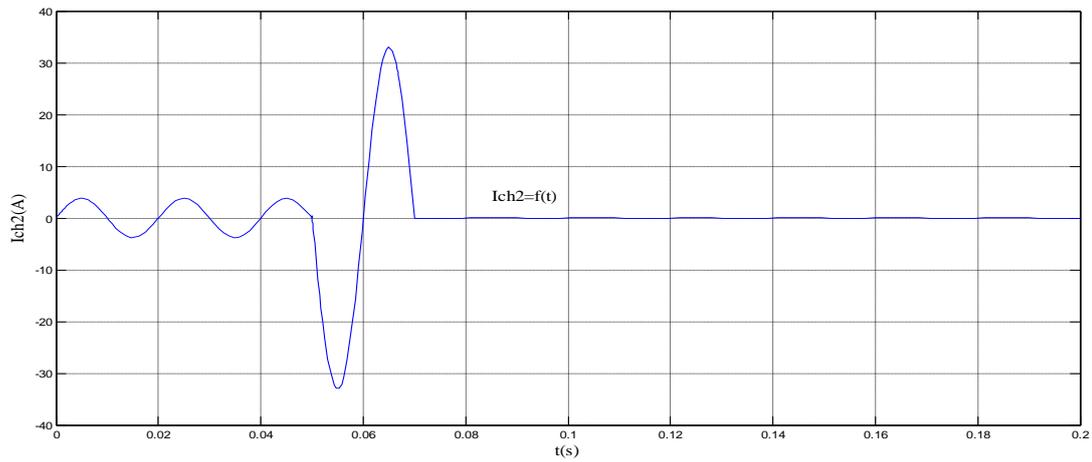


Figure IV.23. Courant de la charge 2 (I_{ch2}) avec le défaut (2).

IV.4.2.3. Simulation de deux cas particuliers

- ◆ Premier cas : dans cette simulation on considère le défaut (2) mais avec défaillance du disjoncteur B. L'objet de cette étude consiste à vérifier la fonction secours des protections.

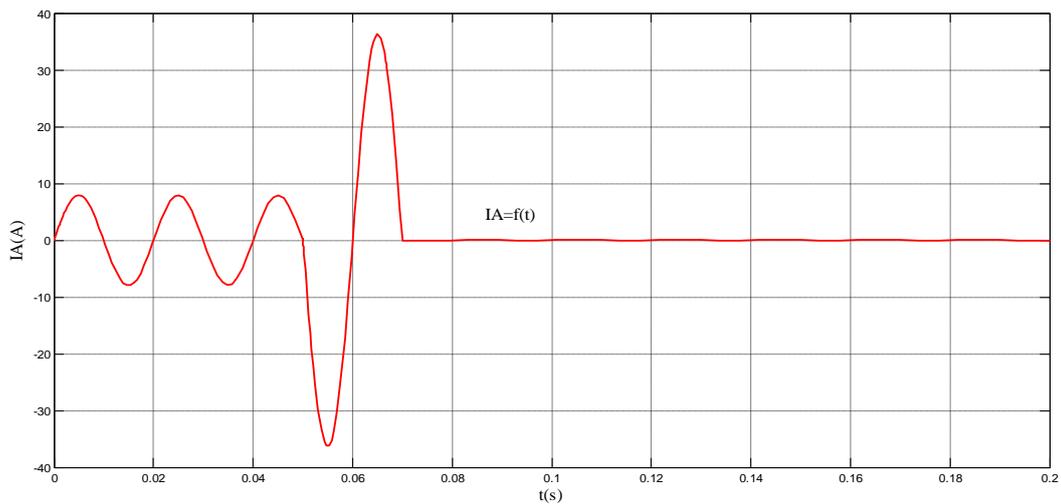


Figure IV.24. Courant du disjoncteur A (défaillance de B).

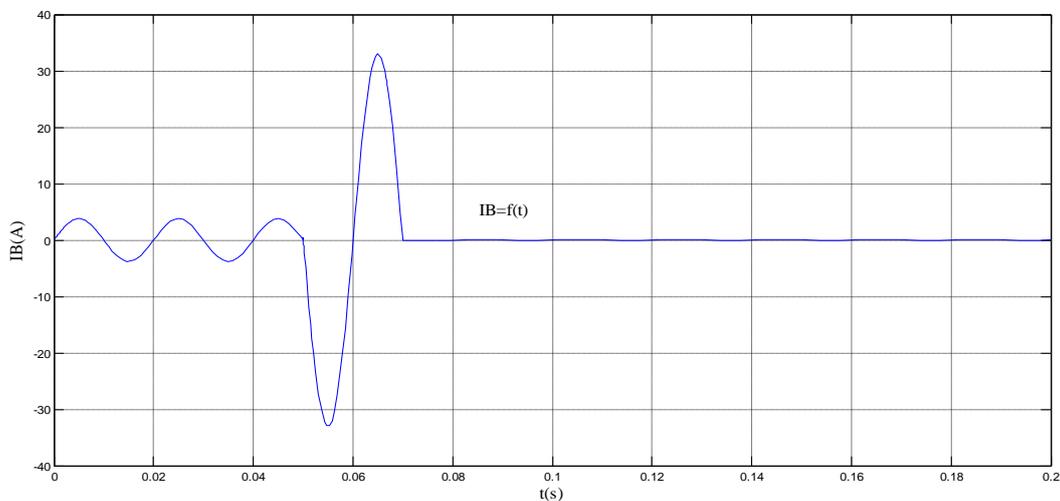


Figure IV.25. Courant du disjoncteur B (défaillance de B).

- ◆ Deuxième cas : dans cette simulation on considère le défaut (2) mais avec seuils de déclenchement de A et B de valeurs proches. L'objet de cette étude consiste à vérifier la sélectivité des protections.

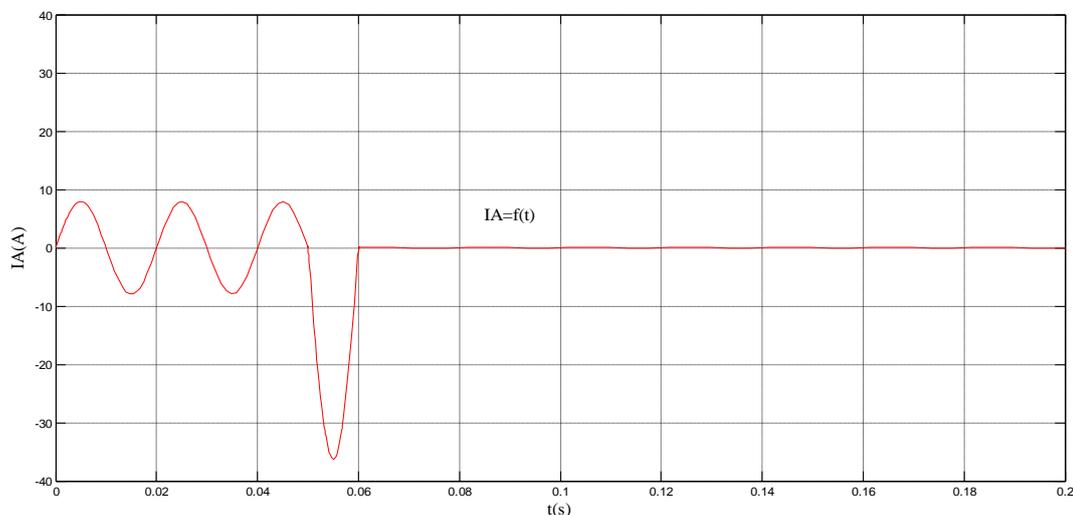


Figure IV.26. Courant I_A dans le cas de disjoncteur B est dans l'état normal.

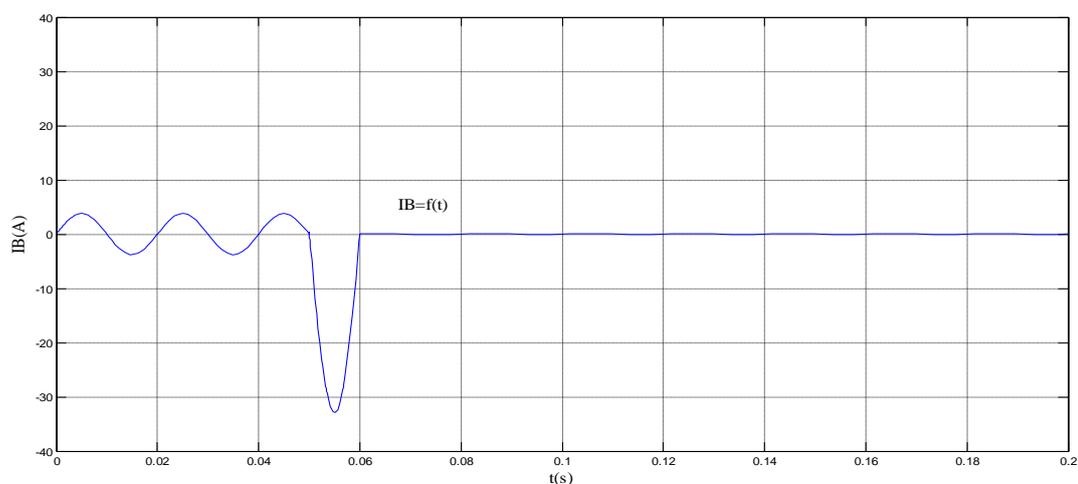


Figure IV.27. Courant I_B dans le cas de disjoncteur B est dans l'état normal.

IV.4.2.4. Interprétations des résultats

- ◆ Avec défaut (1)

Le défaut (1) est vu par le disjoncteur A. D'après les figures, on remarque que le courant I_A dépasse le seuil de déclenchement. Le relais A détecte la différence de courant entre le courant de défaut et le courant de seuil ($I_{cc1} > I_{dA}$), alors le relais envoie un ordre pour l'action du disjoncteur afin d'isoler le défaut (élimination du courant de court-circuit).

- ◆ Avec défaut (2)

Le défaut est vu par les disjoncteurs A et B.

Le relais A détecte le courant I_A de défaut de court-circuit dans le temps 0.05s, mais ce relais ne donne pas un ordre de déclenchement, après une courte durée le système au point A retourne dans l'état normal (continuité de service pour la charge 1).

Par contre le relais B détecte le courant de défaut ($I_{cc2} > I_{dB}$), ensuite il envoie un ordre de déclenchement au disjoncteur B (défaut isolé).

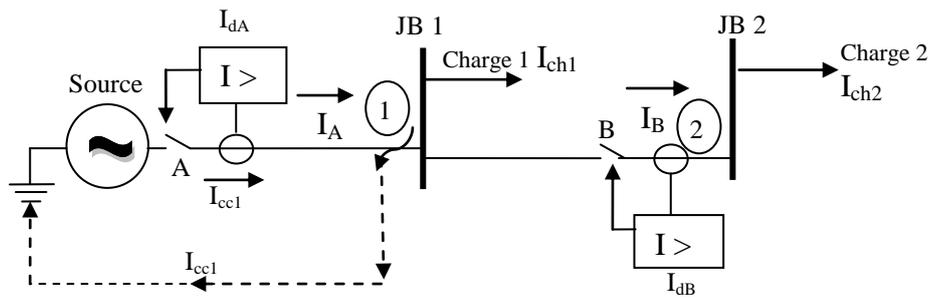


Figure IV.28. Courant du défaut (1).

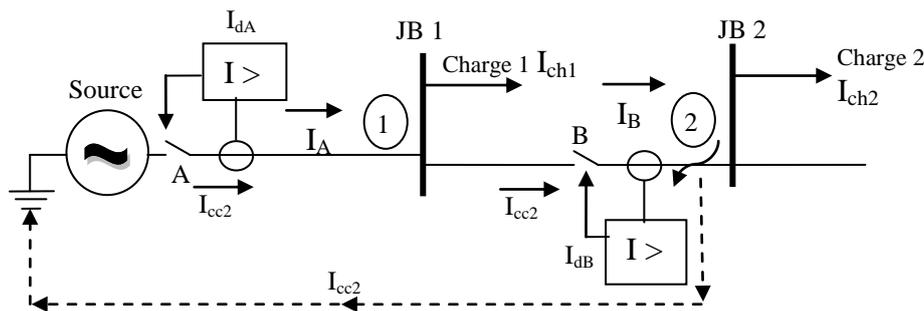


Figure IV.29. Courant du défaut (2).

◆ **Premier cas particulier** : (défaut (2) + défaillance du disjoncteur B)

Dans cette simulation, on remarque que le disjoncteur A représente un disjoncteur de secours pour le disjoncteur B. Donc la fonction secours de la sélectivité ampérométrique est bien vérifiée.

◆ **Deuxième cas particulier** : (Seuils de valeurs proches de A et B)

Si le seuil de coupure du disjoncteur A est petite et proche du seuil de A, alors le disjoncteur A et B coupent en même temps.

IV.4.3. Simulation de la sélectivité chronométrique

La sélectivité chronométrique consiste à donner des réglages sur les temporisations. Soit :

$$t_{dB} < t_{dA} \quad , \quad t_{dA} = t_{dB} + \Delta t.$$

On prend par exemple $\Delta t = 0,04s$

$t_{dB} = 0,04s$. (Temps de déclenchement du disjoncteur B).

alors $t_{dA} = 0,08s$. (Temps de déclenchement du disjoncteur A).

Le schéma de simulation réalisé sous Simulink de Matlab est montré sur la figure suivante.

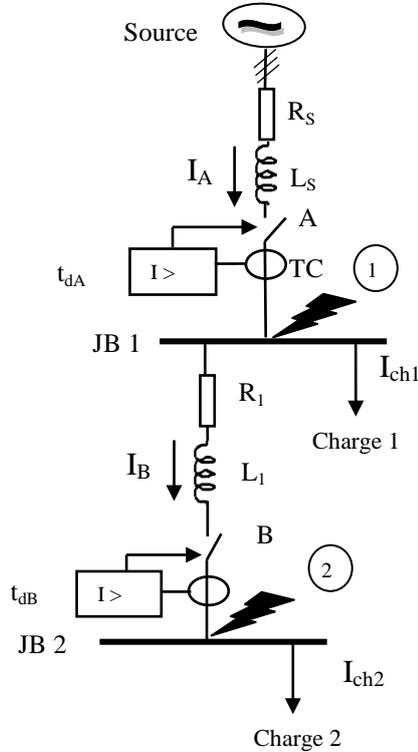


Figure IV.30. Sélectivité chronométrique.

Le schéma de simulation réalisé sous Simulink de Matlab est montré sur la figure suivante.

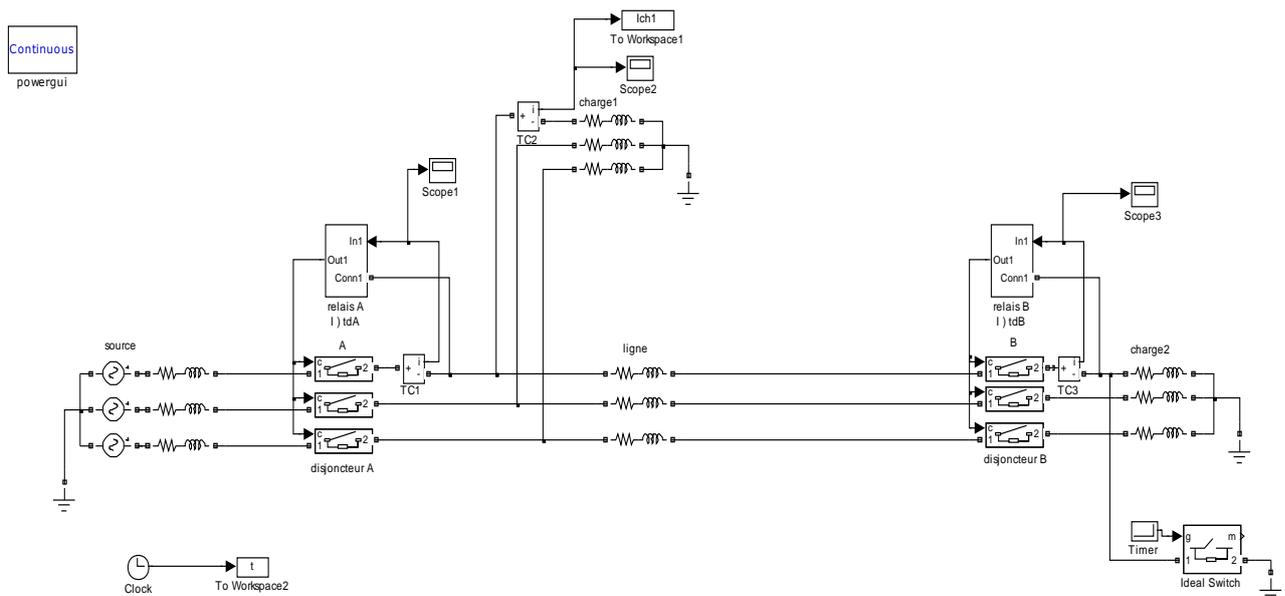


Figure IV.31. Schéma représente la simulation de la sélectivité chronométrique pour un réseau à deux niveaux.

IV.4.3.1. Simulation avec la présence du défaut (1)

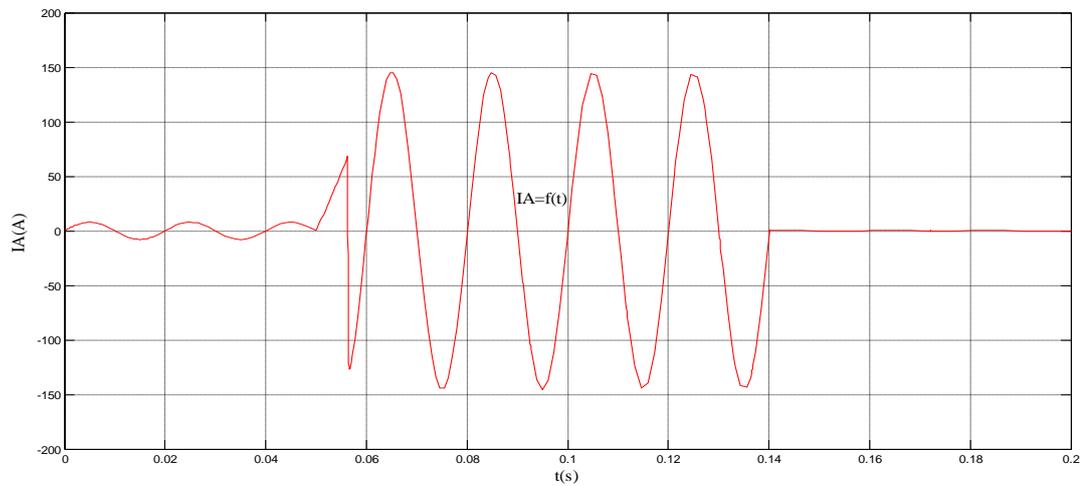


Figure IV.32. Courant de disjoncteur A avec le défaut (1).

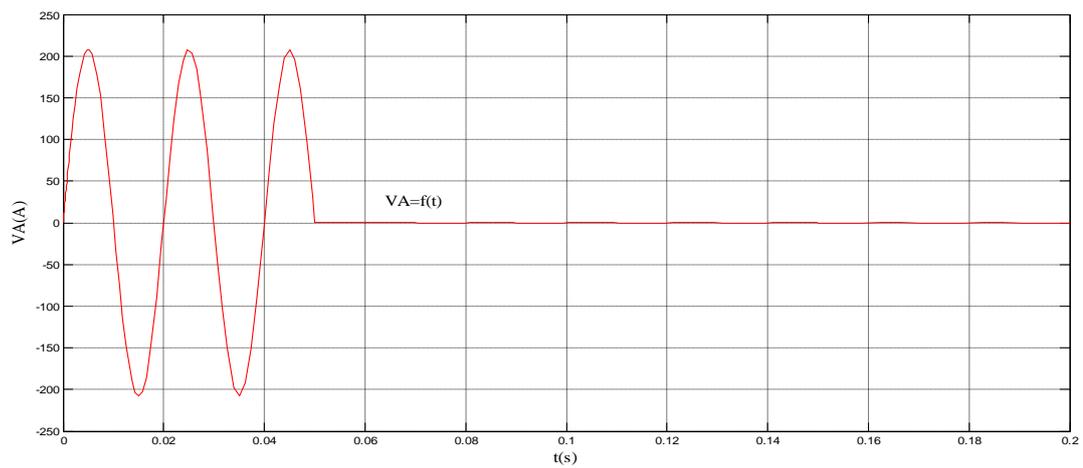


Figure IV.33. Tension de disjoncteur A avec le défaut (1).

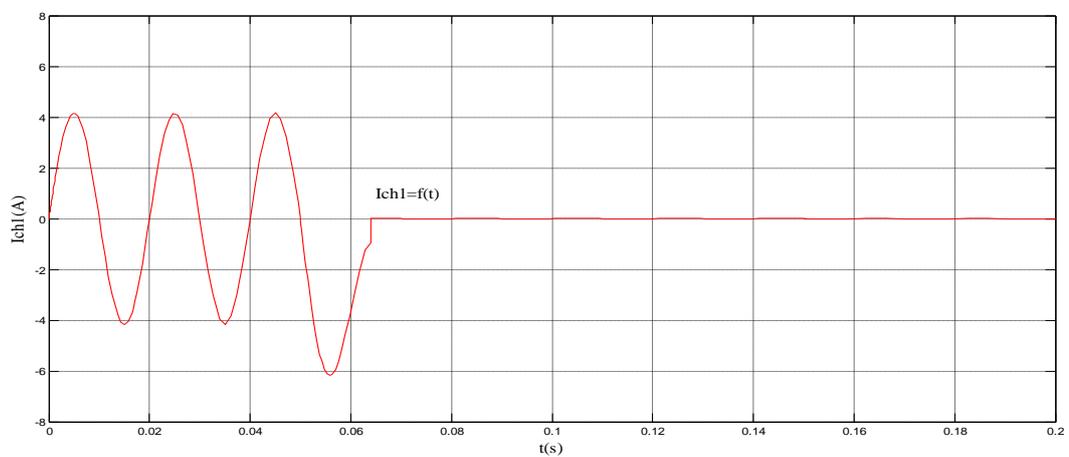


Figure IV.34. Courant de charge 1 (I_{ch1}) avec le défaut (1).

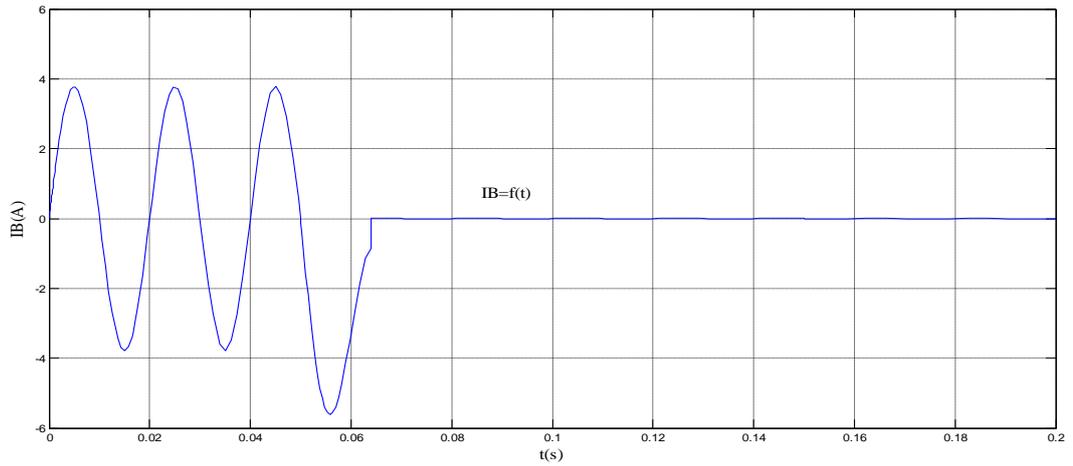


Figure IV.35. Courant de disjoncteur B avec le défaut (1).

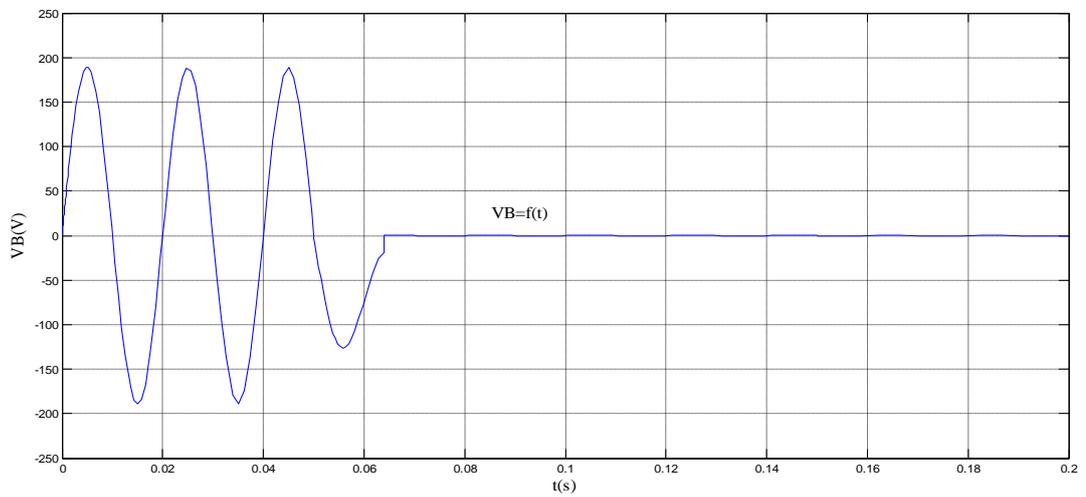


Figure IV.36. Tension de disjoncteur B avec le défaut (1).

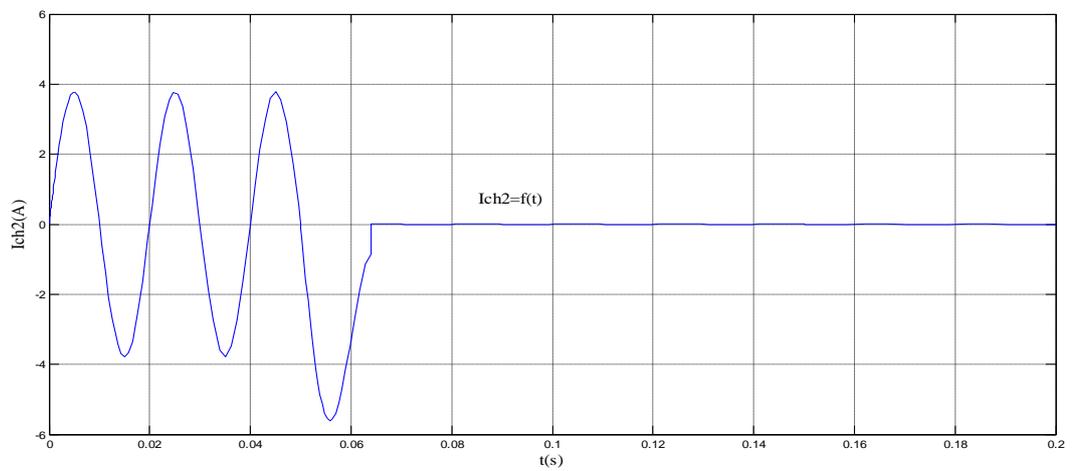


Figure IV.37. Courant de charge 2 (I_{ch2}) avec le défaut (1).

IV4.3.2. Simulation avec la présence du défaut (2)

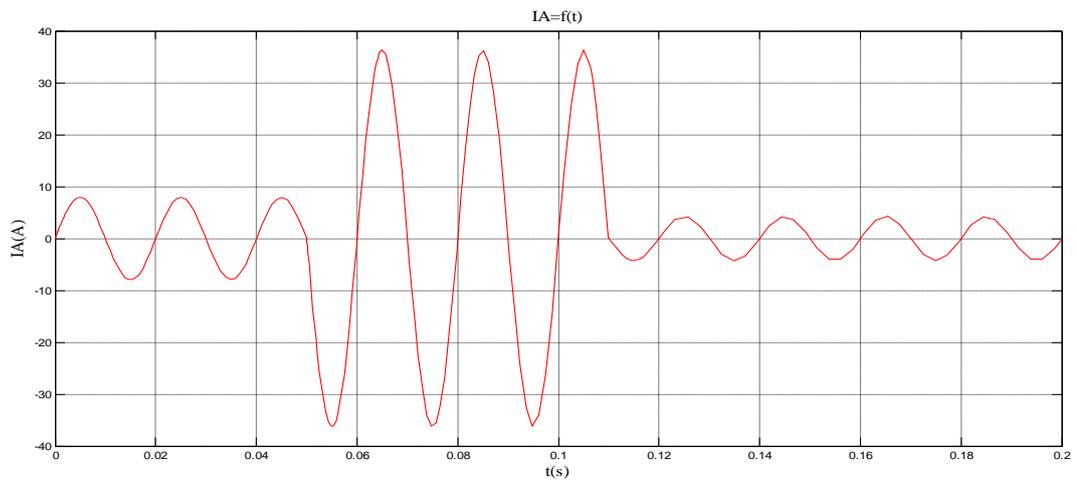


Figure IV.38. Courant de disjoncteur A avec le défaut (2).

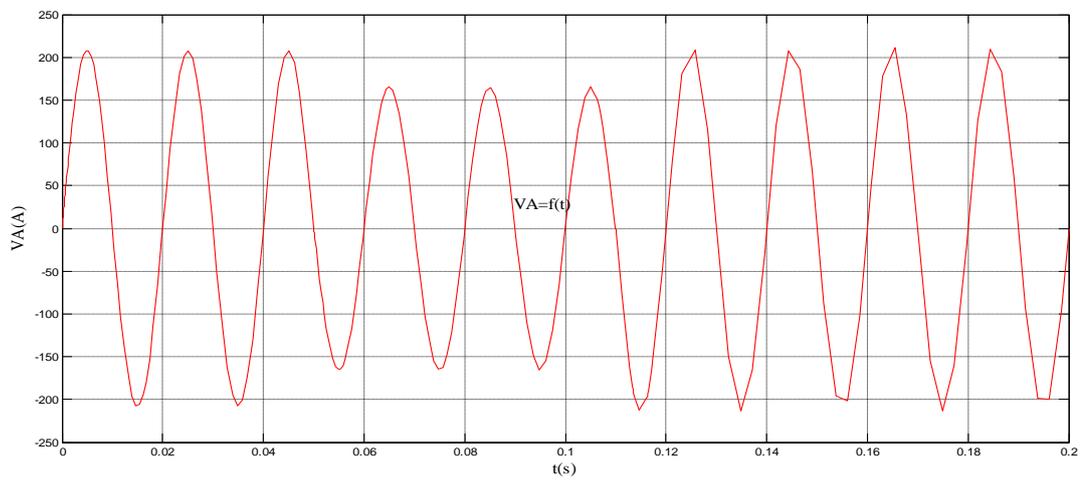


Figure IV.39. Tension de disjoncteur A avec le défaut (2).

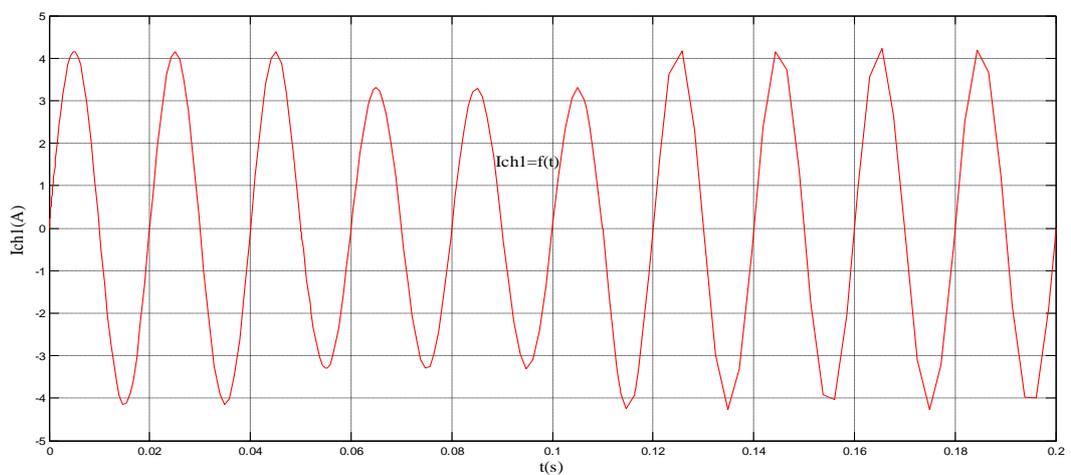


Figure IV.40. Courant de charge 1(I_{chl}) avec le défaut (2).

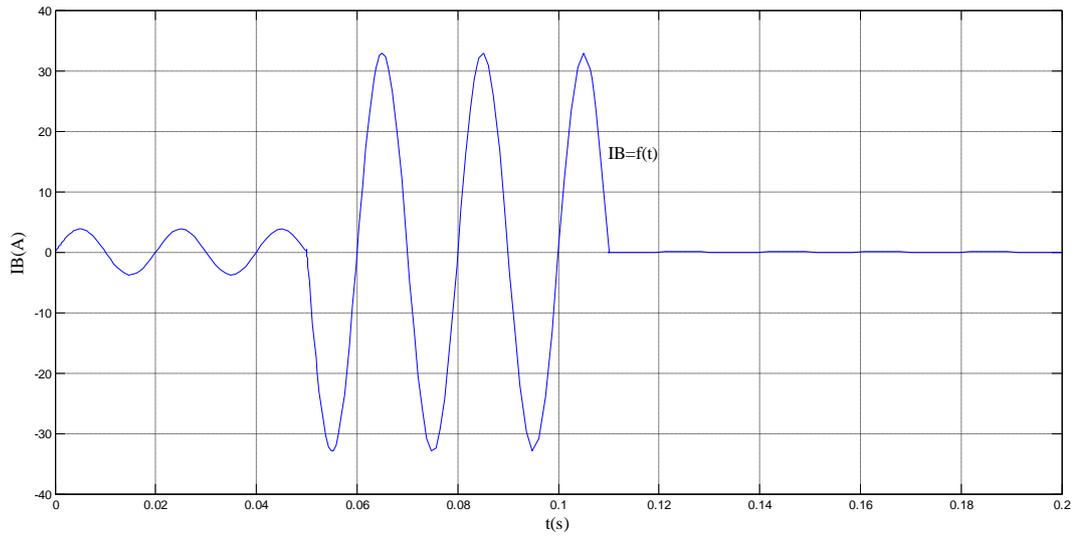


Figure IV.41. Courant de disjoncteur B avec le défaut (2).

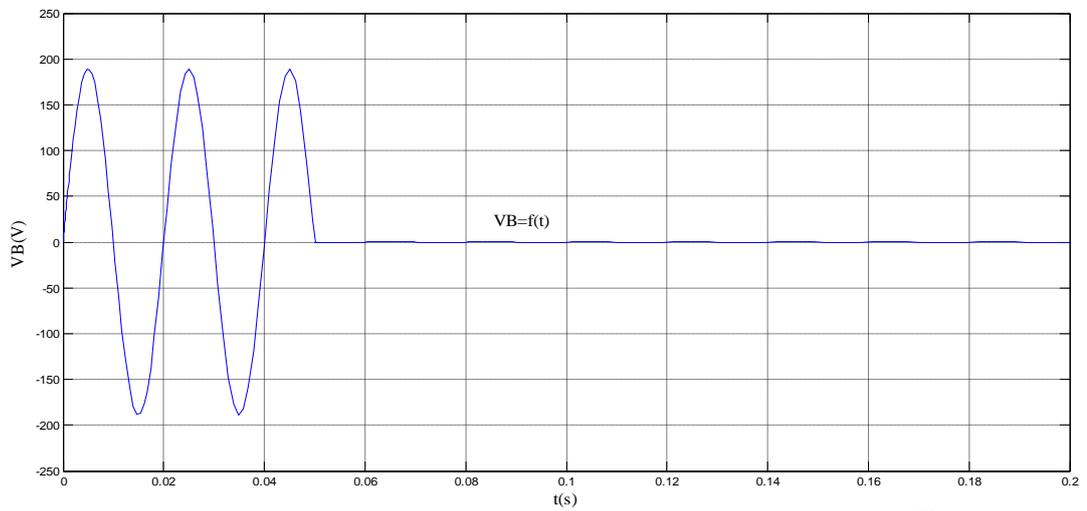


Figure IV.42. Tension de disjoncteur B avec le défaut (2).

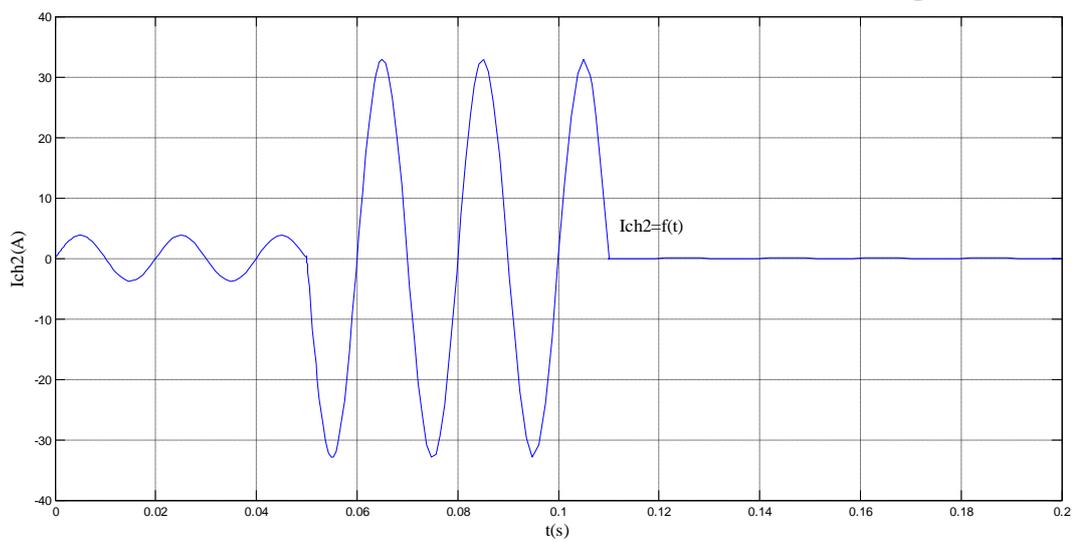


Figure IV.43. Courant de charge $2(I_{ch1})$ avec le défaut (2).

IV.4.3.3. Simulation du défaut (2) avec défaillance du disjoncteur B

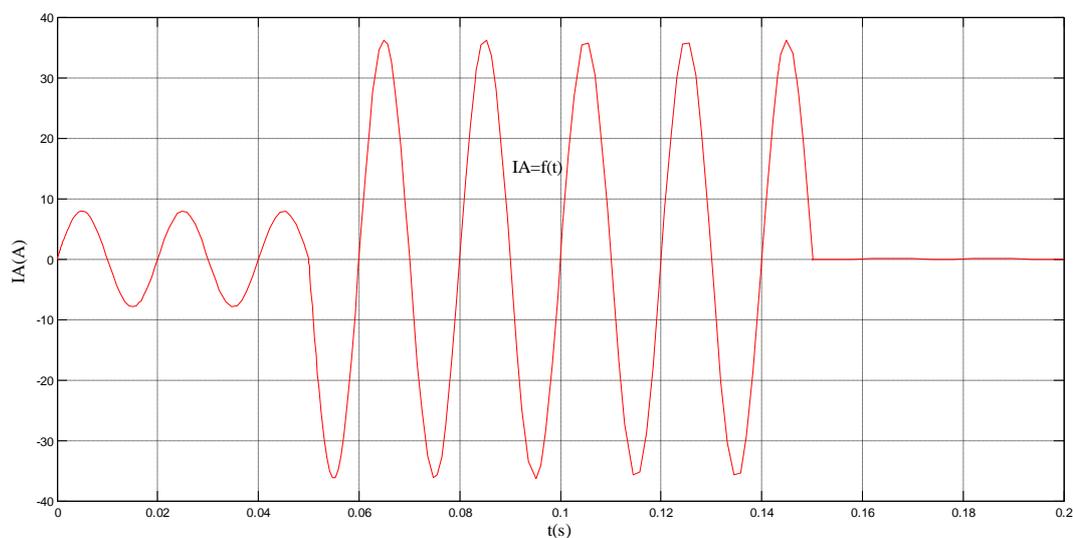


Figure IV.44. Courbe de courant I_A de disjoncteur A dans le cas de disjoncteur B.

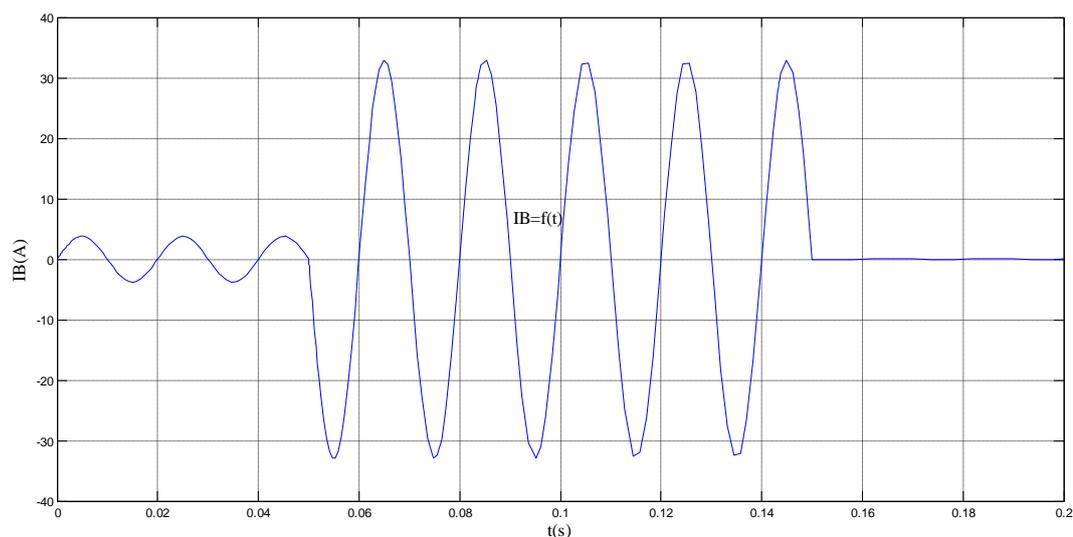


Figure IV.45. Courbe de courant I_B de disjoncteur B dans le cas de disjoncteur B.

IV.4.3.4. Interprétations des résultats

◆ Avec défaut (1) :

Le défaut est vu par le disjoncteur A.

D'après les figures, on remarque que le courant I_A dépasse le seuil, alors élimination du courant de défaut après un temps t_{dA} (temporisation du disjoncteur A).

◆ Avec défaut (2) :

Le défaut (2) est vu par les disjoncteurs A et B.

Le relais A détecte le courant de défaut ($I_{ccB} > I_A$), mais le temps de défaut est court par rapport à la temporisation du relais A (t_{dA}), et le système retourne à l'état normale au niveau de la charge 1 (continuité de service pour la charge 1).

Pour le relais B on a $I_{cc2} > I_{dB}$, alors le relais B envoie un ordre de coupure vers le disjoncteur B dans le temps t_{dB} pour éliminer le défaut.

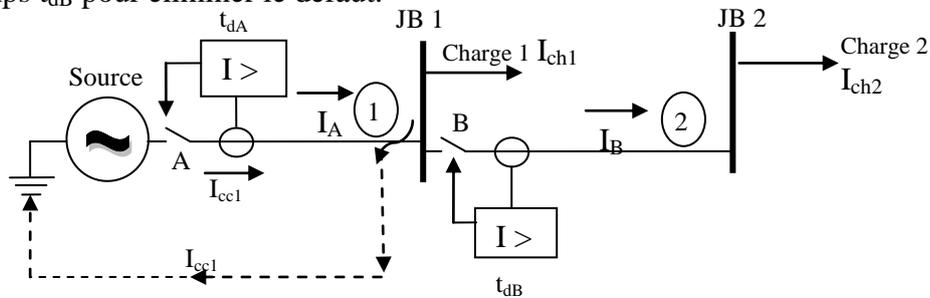


Figure IV.46. Sélectivité ampérométrique pour le défaut (1).

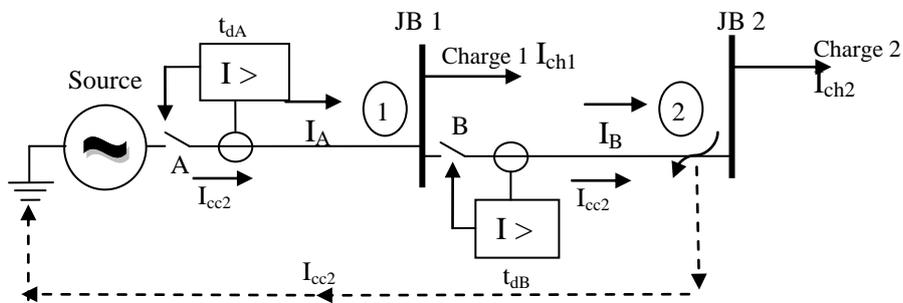


Figure IV.47. Sélectivité ampérométrique pour le défaut (2).

◆ Défaut (2) et défaillance du disjoncteur B :

Dans ce cas le disjoncteur A représente une protection secours pour le disjoncteur B, mais le temps de coupure est considérable et peut constituer un danger pour les éléments de la partie B.

IV.4.4. Simulation de la sélectivité logique à câble pilote

◆ Relais logique



Figure IV.48. Schéma de principe d'un relais logique.

Tableau de vérité de base de la sélectivité logique :

S _{ar}	S _{CC}	S _{Dr}	S _D	S _{ae}
0	0	0	0	0
0	0	1	1	1
0	1	0	1	1
0	1	1	1	1
1	0	0	0	1
1	0	1	1	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

S_{CC}: signal de court-circuit,
 S_{ar} : signal d'attente logique reçu,
 S_{ae}: signal d'attente logique envoyé,
 S_D: signal du disjoncteur,
 S_{Dr}: S_{ar}×Δt.

Tableau IV.1. Table de vérité de la sélectivité logique.

D'une autre part on a la fonction logique:

- ◆ $S_D = S_{Dr} + (S_{CC} \times \bar{S}_{ar})$
- ◆ $S_{ae} = S_{Dr} + S_{CC} + S_{ar}$

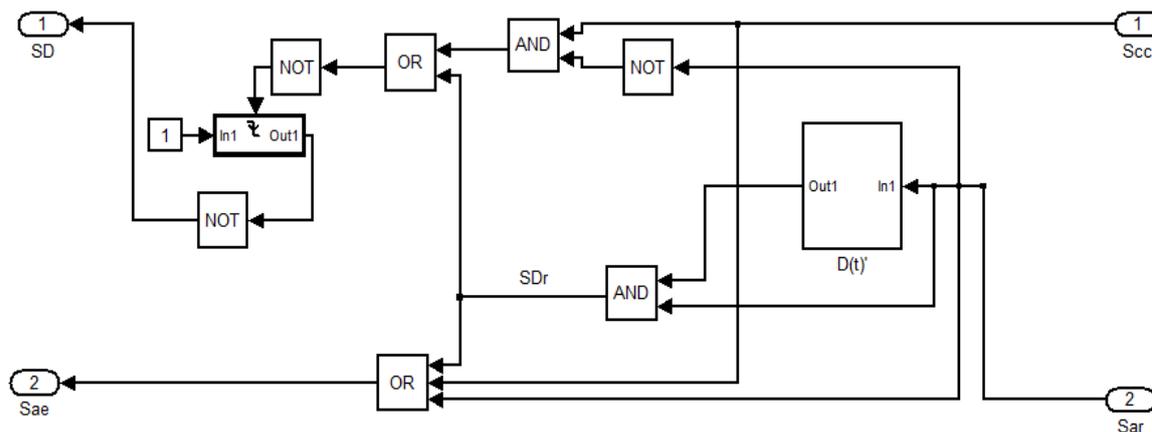


Figure IV.49. Schéma simulink du relais logique.

On prend les seuils des disjoncteurs A et B comme suite :

$$I_{dA} = 22.24 \text{ A}$$

$$I_{dB} = 18.63 \text{ A}$$

La même temporisation : $t_{dA} = t_{dB}$.

On réalise le défaut (2) d'une manière que de disjoncteur B ne fonctionné pas.

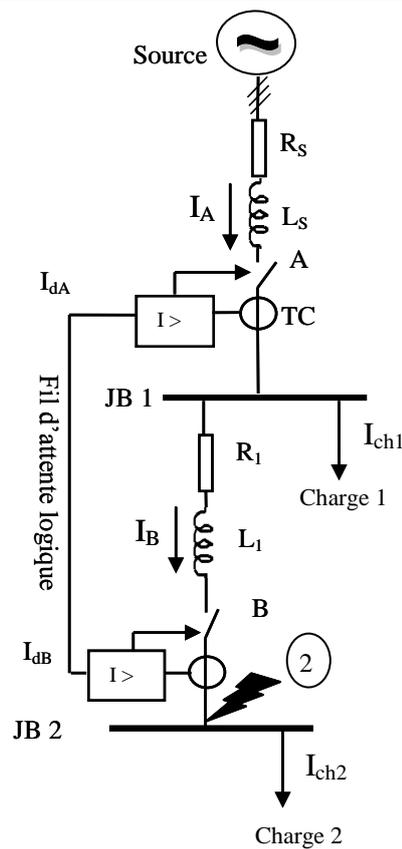


Figure IV.50. Sélectivité logique.

Le schéma de simulation réalisé sous Simulink de Matlab est montré sur la figure suivante.

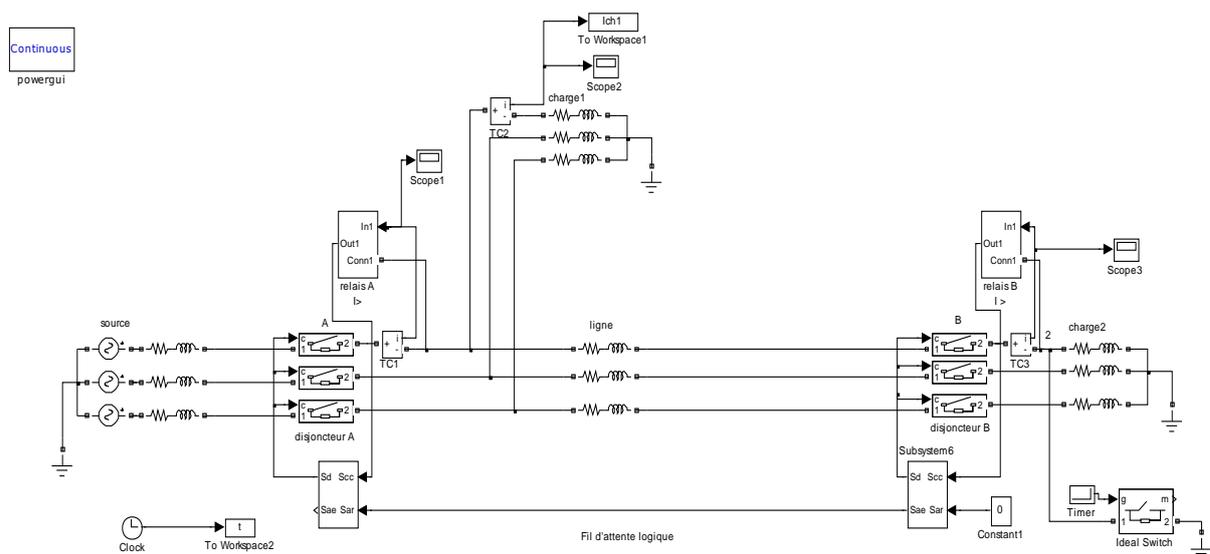


Figure IV.51. Schéma représente la simulation de la sélectivité logique pour un réseau a deux niveaux.

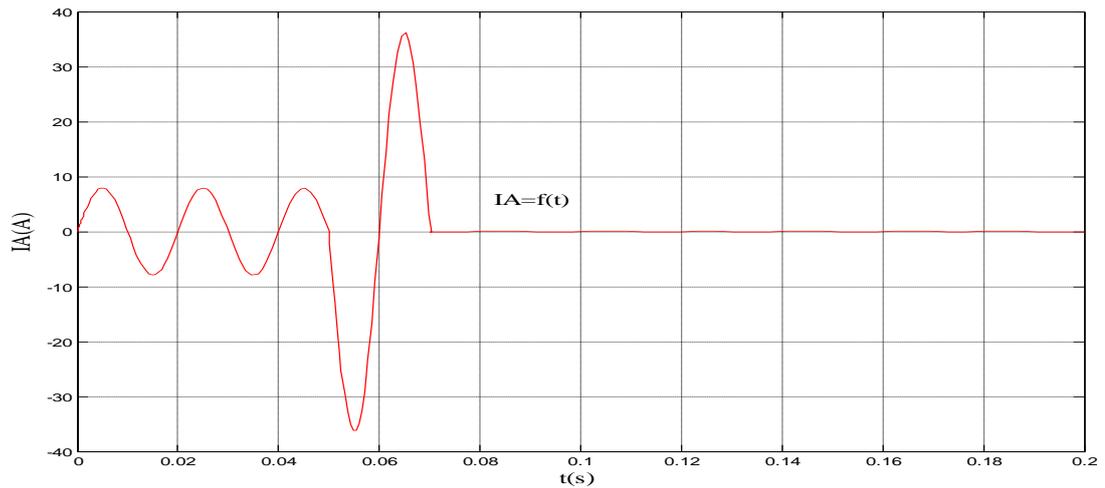


Figure IV.52. Courant I_{dA} , dans le cas où le disjoncteur B ne fonctionne pas.

Le défaut est vu par les disjoncteurs A et B.

On remarque que le défaut est annulé dans un temps très faible, le relais B émet un ordre d'attente logique vers le relais A et le disjoncteur B or service alors le disjoncteur A est déclenché.

Pour la même situation, on remarque la rapidité de la sélectivité logique par rapport à la sélectivité chronométrique. Cette rapidité est due à la connexion entre les relais A et B par fil d'attente logique (fil pilote).

IV.4.5. Simulation de la sélectivité logique à CPL

Dans ce cas là, nous remplaçons le câble pilote par le système de CPL dans la sélectivité logique c'est pourquoi nous faisons l'étude qui suite:

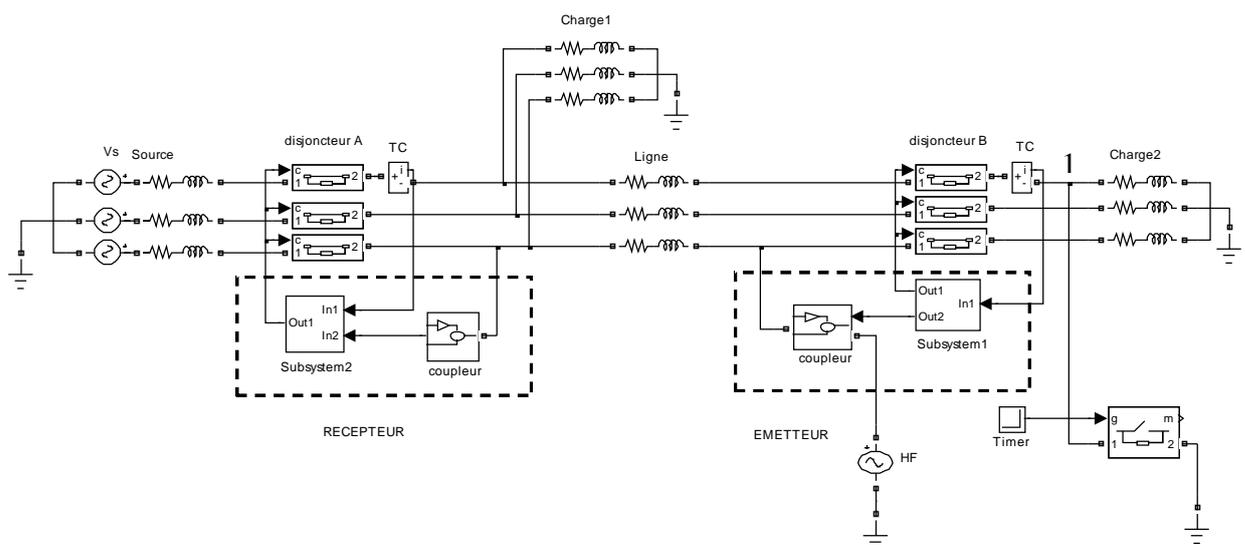
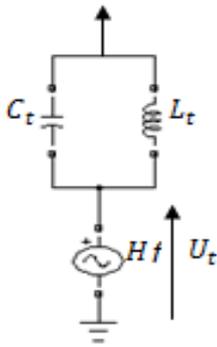


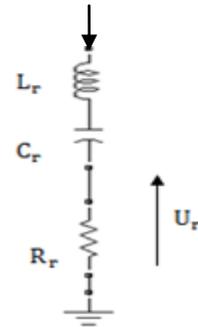
Figure IV.53. Schéma de simulation d'un réseau électrique triphasé à deux niveaux de protection de la sélectivité logique à CPL.

L'émetteur et le récepteur des coupleurs sont présentés dans la Figure.IV.54, et Figure.IV.55, respectivement.



$$C_t=1.013\mu F, L_t=10^{-5}H, F=50\text{ KHZ}$$

Figure IV.54. Coupleur émetteur de signal de CPL.



$$L_r=10^{-4}H, C_r=10^{-6}\mu F, R_r=15\Omega.$$

Figure IV.55. Coupleur de récepteur de signal de CPL.

IV.4.5.1 réseau sans défauts

Protection B n'est pas affecté, donc le relais logique de protection B ne transmet pas un signal d'attente logique à la protection de A. Dans ce cas, un fonctionnement normal du réseau se produit, les flux courant de la source à la charge. Les résultats de la simulation de ce cas sont présentés dans la figure ci- après.

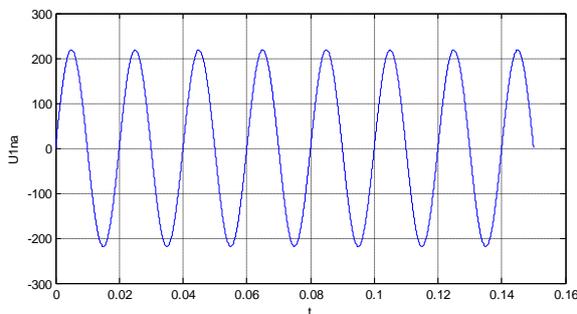


Figure IV.56. Tension du disjoncteur A.

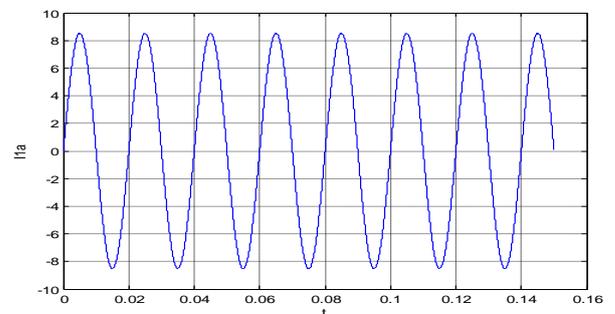


Figure IV.57. Courant du disjoncteur A.

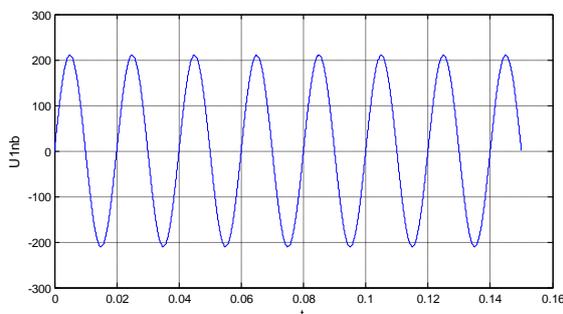


Figure IV.58. Tension du disjoncteur B.

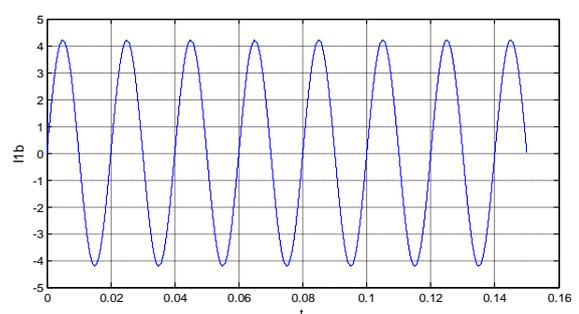


Figure IV.59. Courant du disjoncteur B.

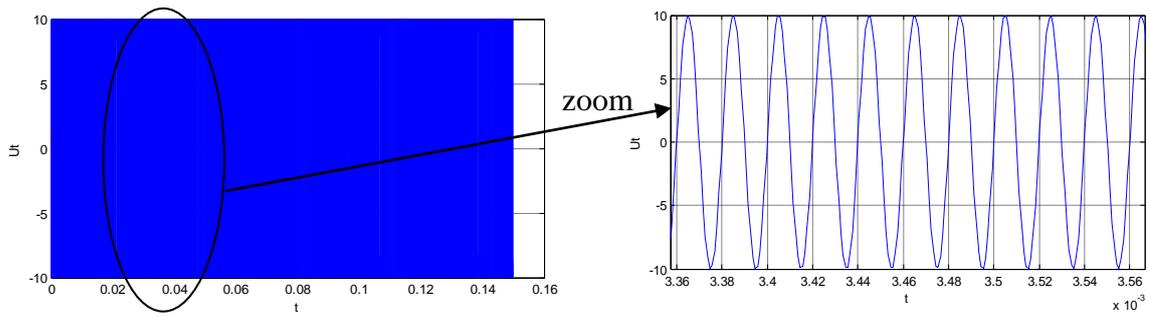


Figure IV.60. Signal HF transmit au réseau.

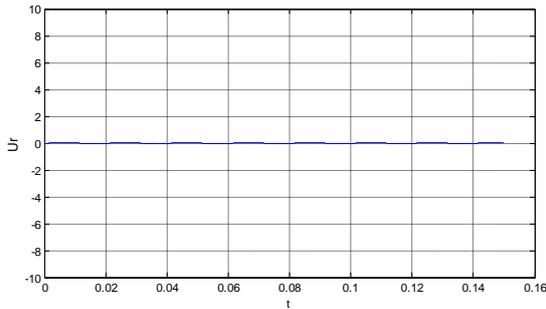


Figure IV.61. Signal HF reçu.

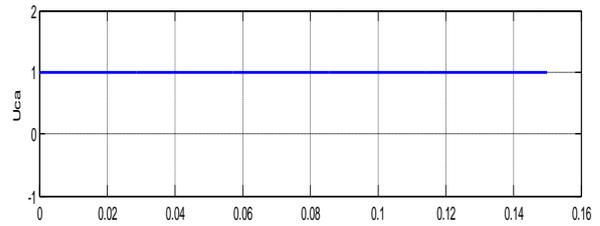


Figure IV.62. Signal de commande de disjoncteur A.

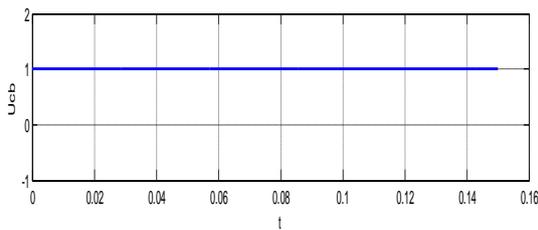


Figure IV.63. Signal de commande de disjoncteur B.

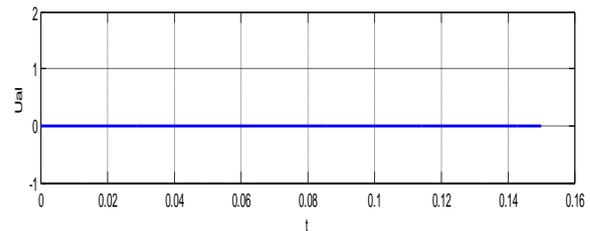


Figure IV.64. Signal de l'attente logique envoyée de B vers A.

IV.4.5.2 Avec défaut (1)

En cas de défaut apparaît dans (1), un courant de défaut à travers les deux protections A et B. Par conséquent, les protections A et B sont informés de cette faille. Dans ce cas, le relais de protection B envoie deux signaux logiques; un signal de déclenchement à son disjoncteur et un signal d'attente logique à la protection A. Le disjoncteur B s'ouvre après sa t_B temps de retard avant que la protection sera active. Sachant que la protection A est verrouillé par le signal d'attente logique. Les résultats de la simulation de ce cas se sont présentés dans la figure suivante.

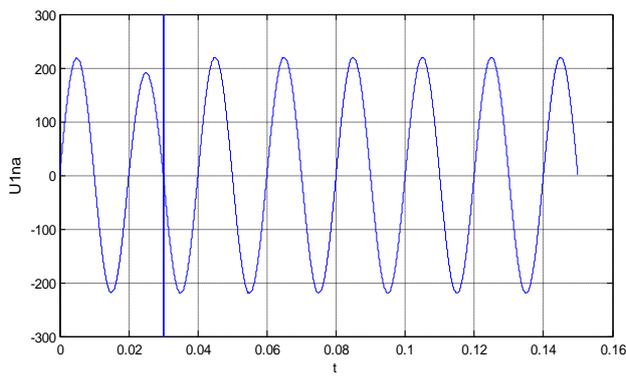


Figure IV.65. Tension du disjoncteur A.

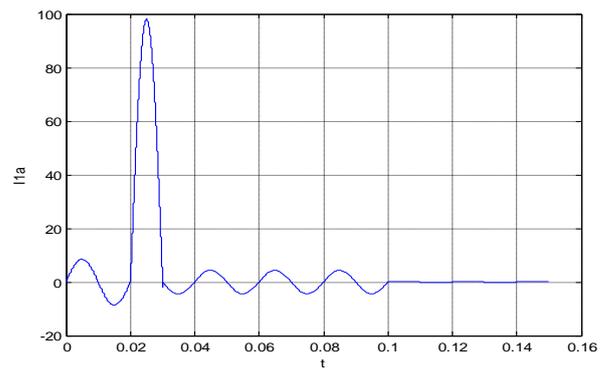


Figure IV.66. Courant du disjoncteur A

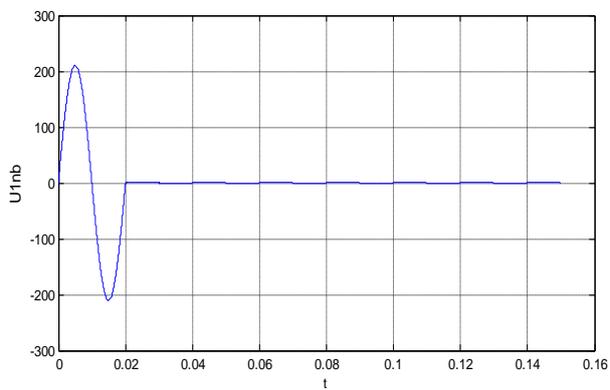


Figure IV.67. Tension du disjoncteur B

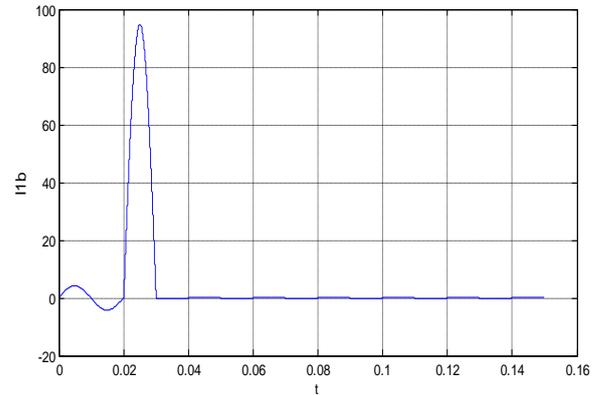


Figure IV.68. Courant du disjoncteur B.

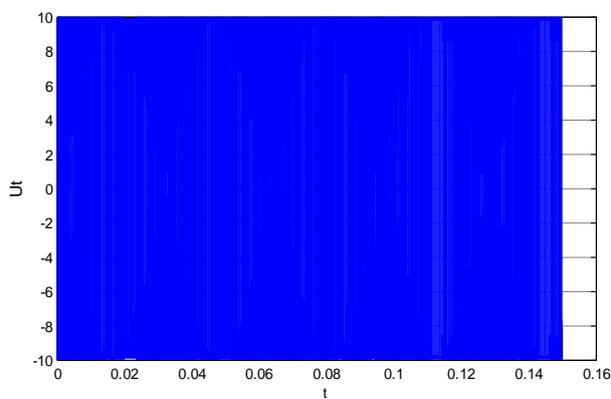


Figure IV.69. Signal HF transmit au réseau.

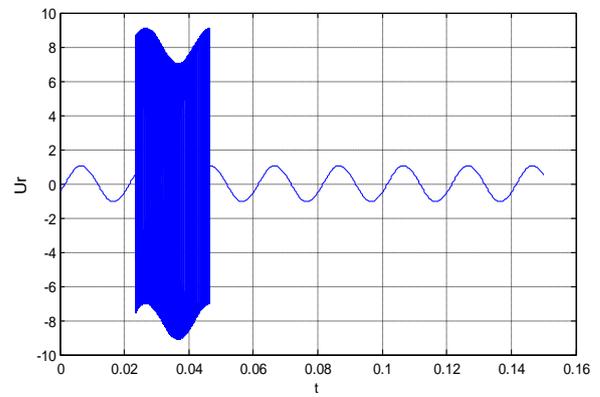


Figure IV.70. Signal HF reçu.

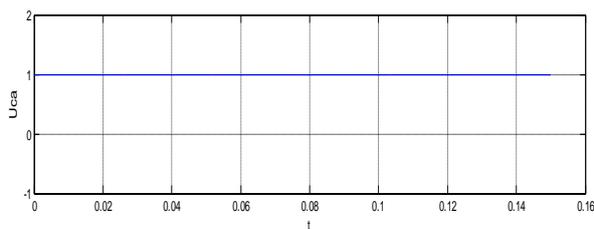


Figure IV.71. Signal de commande de disjoncteur A.

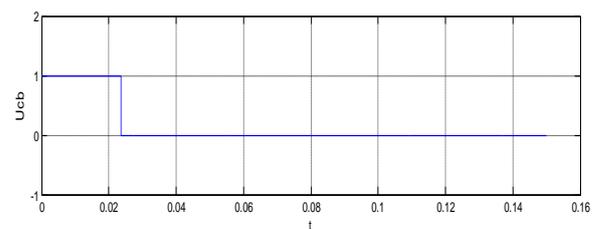


Figure IV.72. Signal de commande de disjoncteur B.

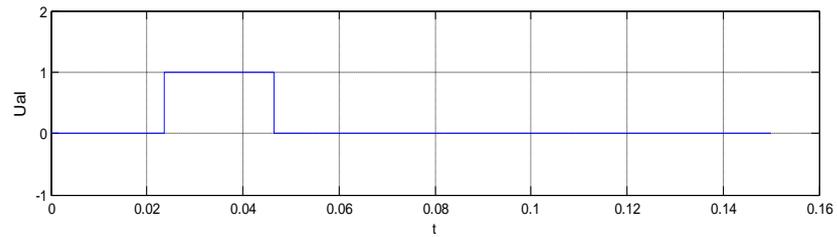


Figure IV.73. Signal de l'attente logique envoyé de B vers A.

IV.4.5.3. Avec défaut (1) et le disjoncteur B défaillance :

Nous considérons maintenant qu'un défaut apparaît au point (1) dont la protection B est en panne. Comme dans le cas précédent, le courant de défaut traverse les deux protections A et B. Par conséquent, le relais de la protection B envoie deux signaux logiques; un signal de déclenchement à son disjoncteur et de signal d'attente logique à la protection A. Parce que la protection de B se décompose, son disjoncteur ne s'ouvre pas et pour cette raison, le signal d'attente logique se renvoie. Le disjoncteur A s'ouvre après son délai $t_A + t_{al}$ (t_{al} est le temps d'attente de la protection A avant son activation). Les résultats de la simulation de ce cas se sont présentés dans les figures suivantes.

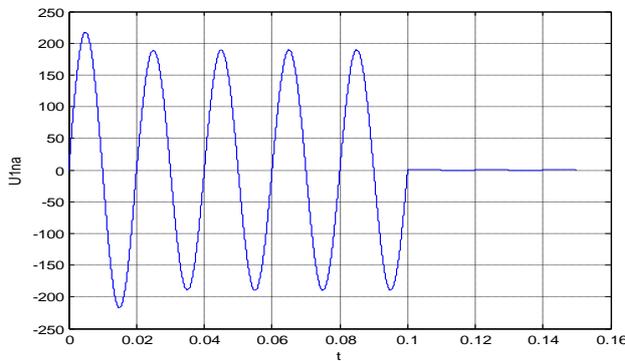


Figure IV.74. Tension du disjoncteur A.

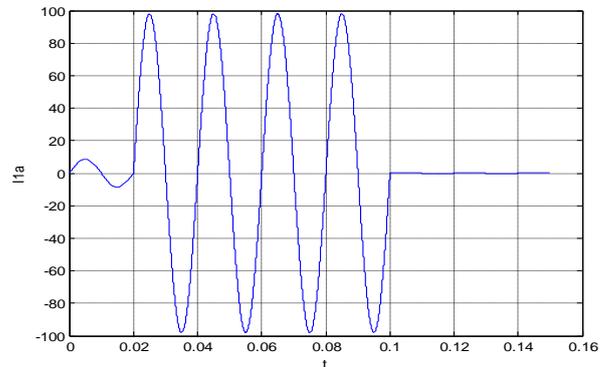


Figure IV.75. Courant du disjoncteur A.

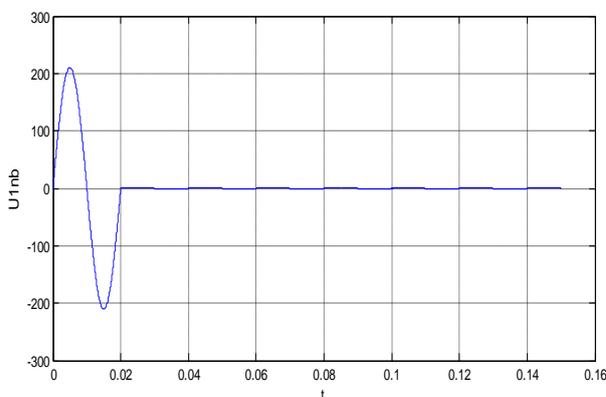


Figure IV.76. Tension du disjoncteur B.

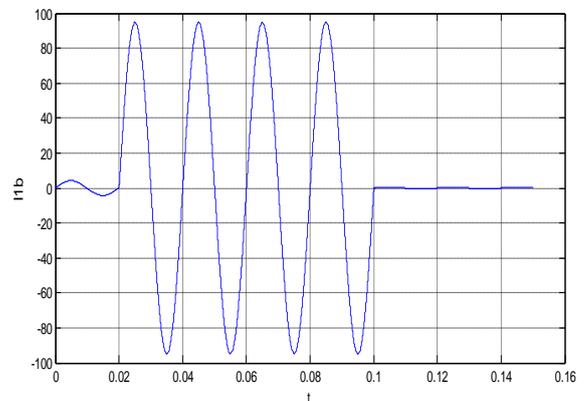


Figure IV.77. Courant du disjoncteur B.

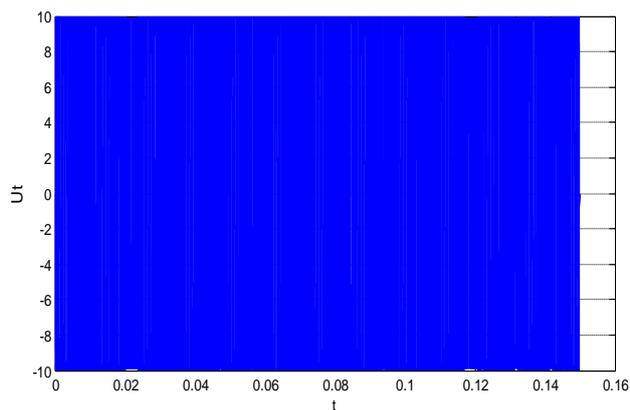


Figure IV.78. Signal HF transmit au réseau.

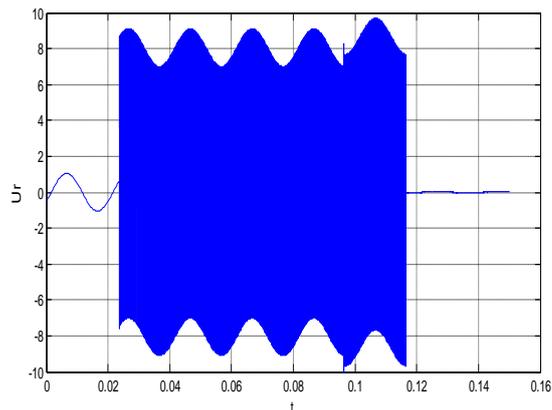


Figure IV.79. Signal HF reçu.

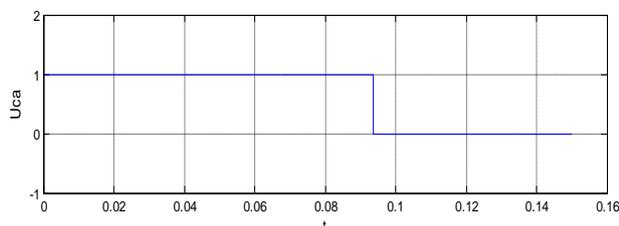


Figure IV.80. Signal de commande de disjoncteur A.

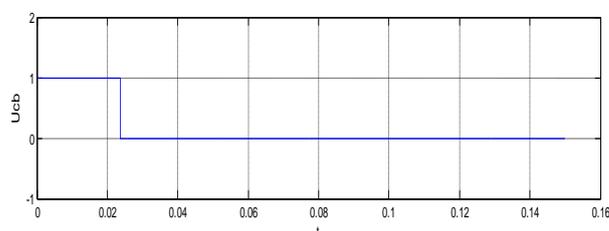


Figure IV.81. Signal de commande de disjoncteur B.

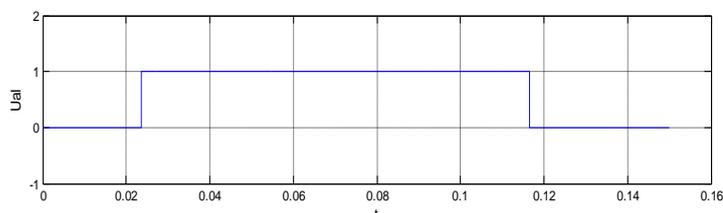


Figure IV.82. Signale de l'attente logique envoyée de B vers A.

IV.4.5.4. Mesure de l'atténuation HF

L'équation d'atténuation de signal HF est représentée comme étant le rapport du signal haute fréquence reçu (U_r) de la protection d'un signal à haute fréquence transmis (U_t) de la protection B [23]:

$$Av(dB) = 20 \log \left(\frac{U_r}{U_t} \right) \quad (IV.1)$$

Les caractéristiques d'atténuation du signal par rapport résistance de ligne, l'inductance de ligne et de la variation de fréquence sont présentés dans la Figure IV.83, Figure IV.84, et Figure IV.85, respectivement.

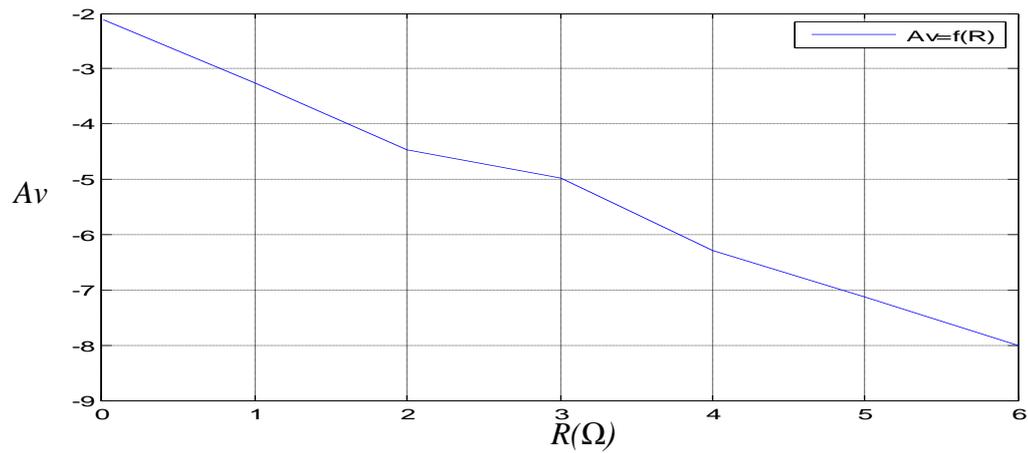


Figure IV.83. L'atténuation du signal HF par rapport variation de la résistance de ligne.

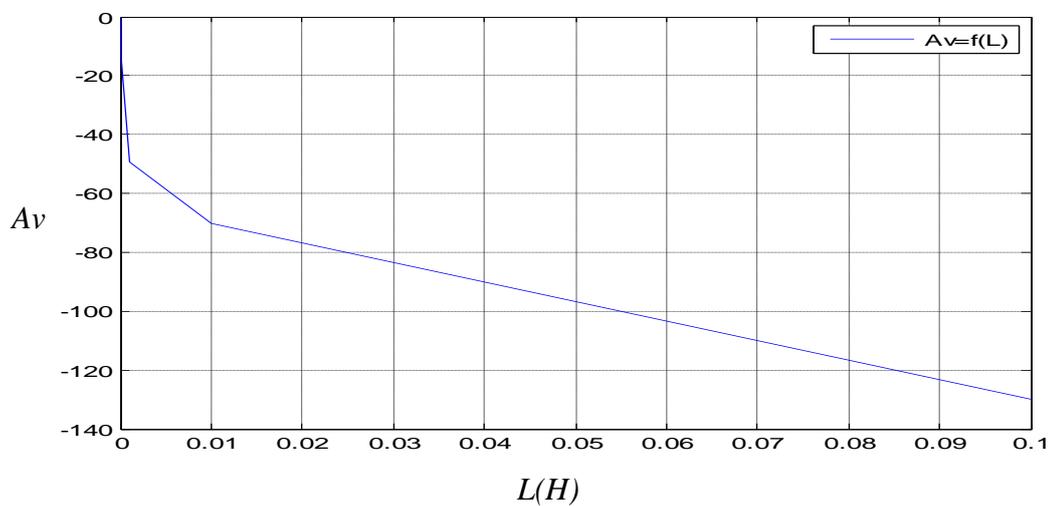


Figure IV.84. L'atténuation du signal par rapport variation de l'inductance de ligne.

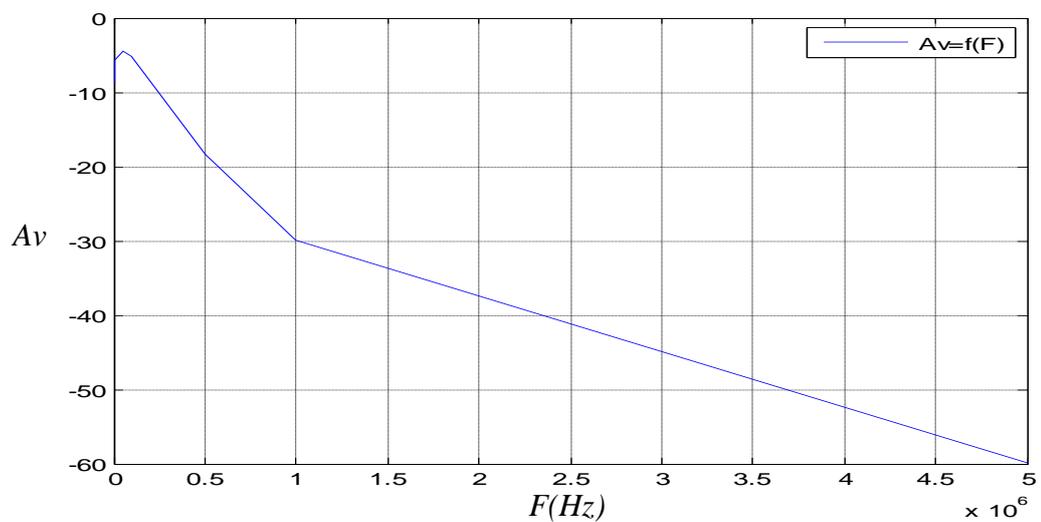


Figure IV.85. L'atténuation du signal HF par rapport variation de fréquence.

IV.5. Description de l'exemple d'étude

IV.5.1. Sélectivité chronométrique d'un système de protection à quatre niveaux

Soit le réseau électrique triphasé à quatre niveaux des protections A et B et C et D (Figure IV.86). Tels que :

Source : $V_s = 220V$; $R_s = 0.3\Omega$; $L_s = 10^{-5} H$.

Lignes : Ligne 1 : $R_1 = 0.5 \Omega$; $L_1 = 10^{-5} H$;

Charges: $R_{ch1} = R_{ch2} = 50\Omega$; $L_{ch1} = L_{ch2} = 10^{-4} H$.

Le relais comporte :

- ◆ Un comparateur : pour comparer le courant mesuré et le seuil de coupure,
- ◆ Triggered subsystem.
- ◆ Seuil de courant : est le seuil de coupure du disjoncteur

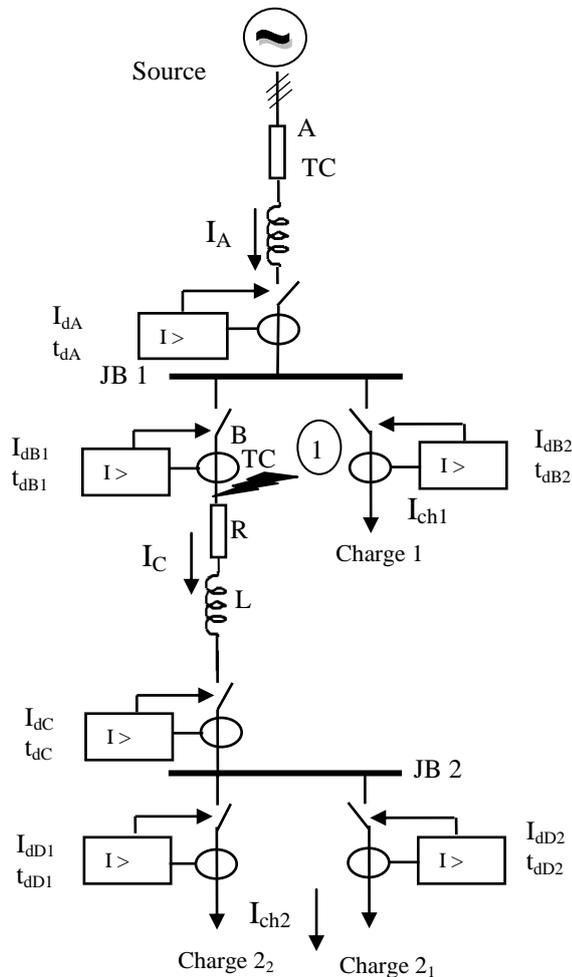


Figure IV.86. Système à sélectivité chronométrique à quatre niveaux.

IV.5.1.1 Simulation sans défaut

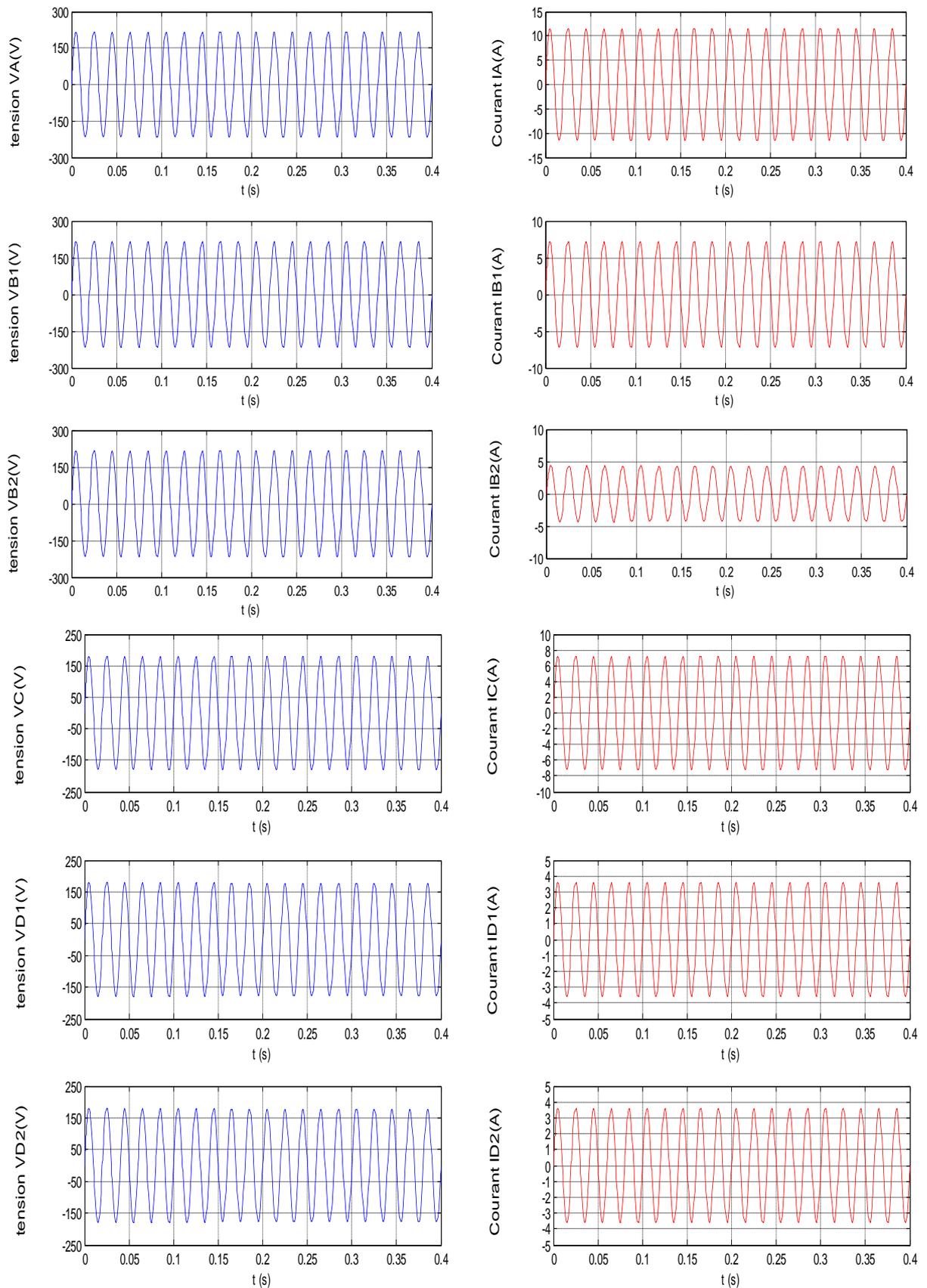


Figure IV.87. Tensions et courants des disjoncteurs, B1,B2,C,D1 et D2.sans défaut.

IV.5.1.2. Simulation du défaut ① du disjoncteur B1

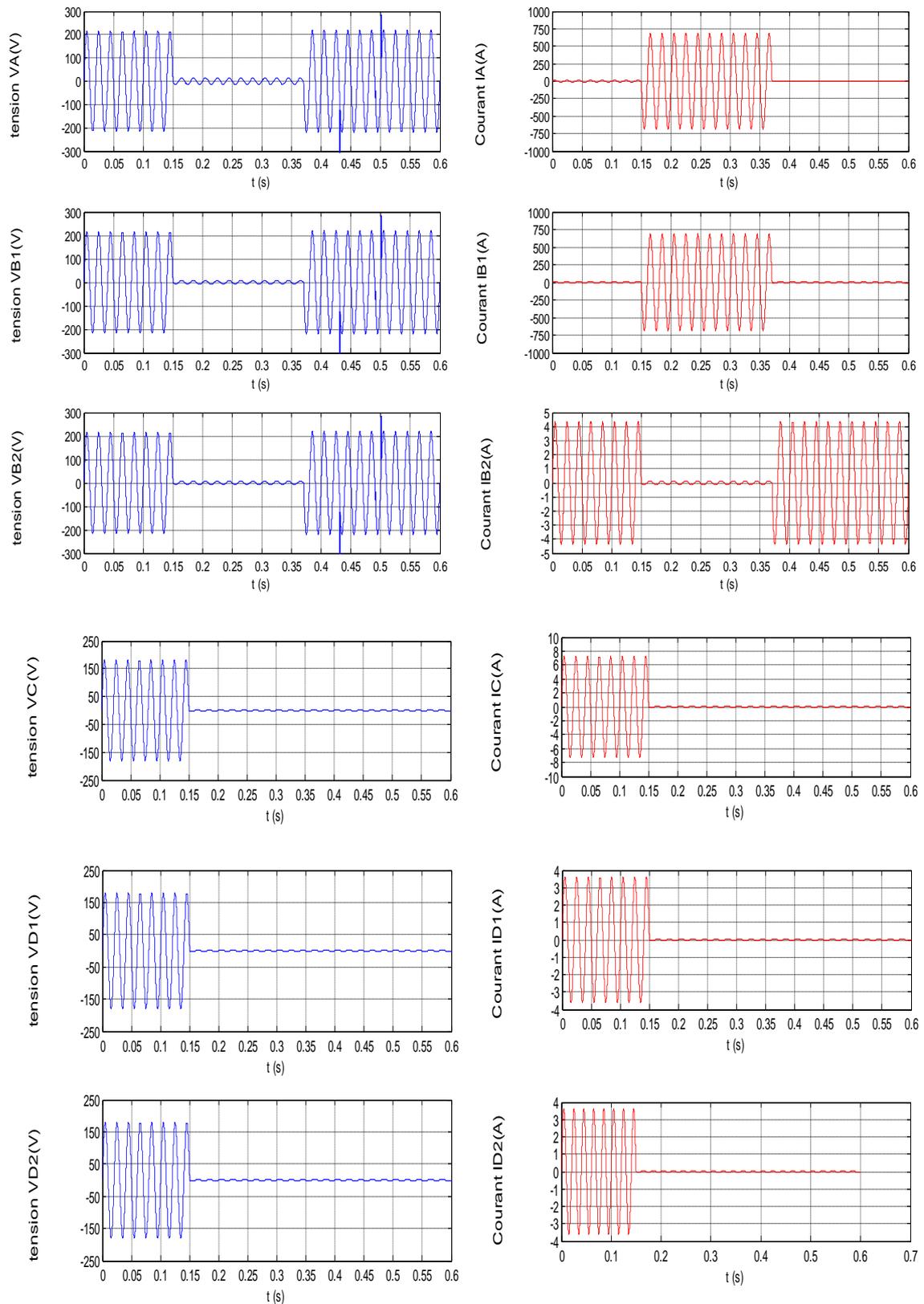


Figure. IV.88. Tensions et courants des disjoncteurs A, B1,B2,C,D1 et D2.avec défaut ① du disjoncteur B1.

IV.5.1.3. Simulation du défaut ① avec défaillance du disjoncteur B1

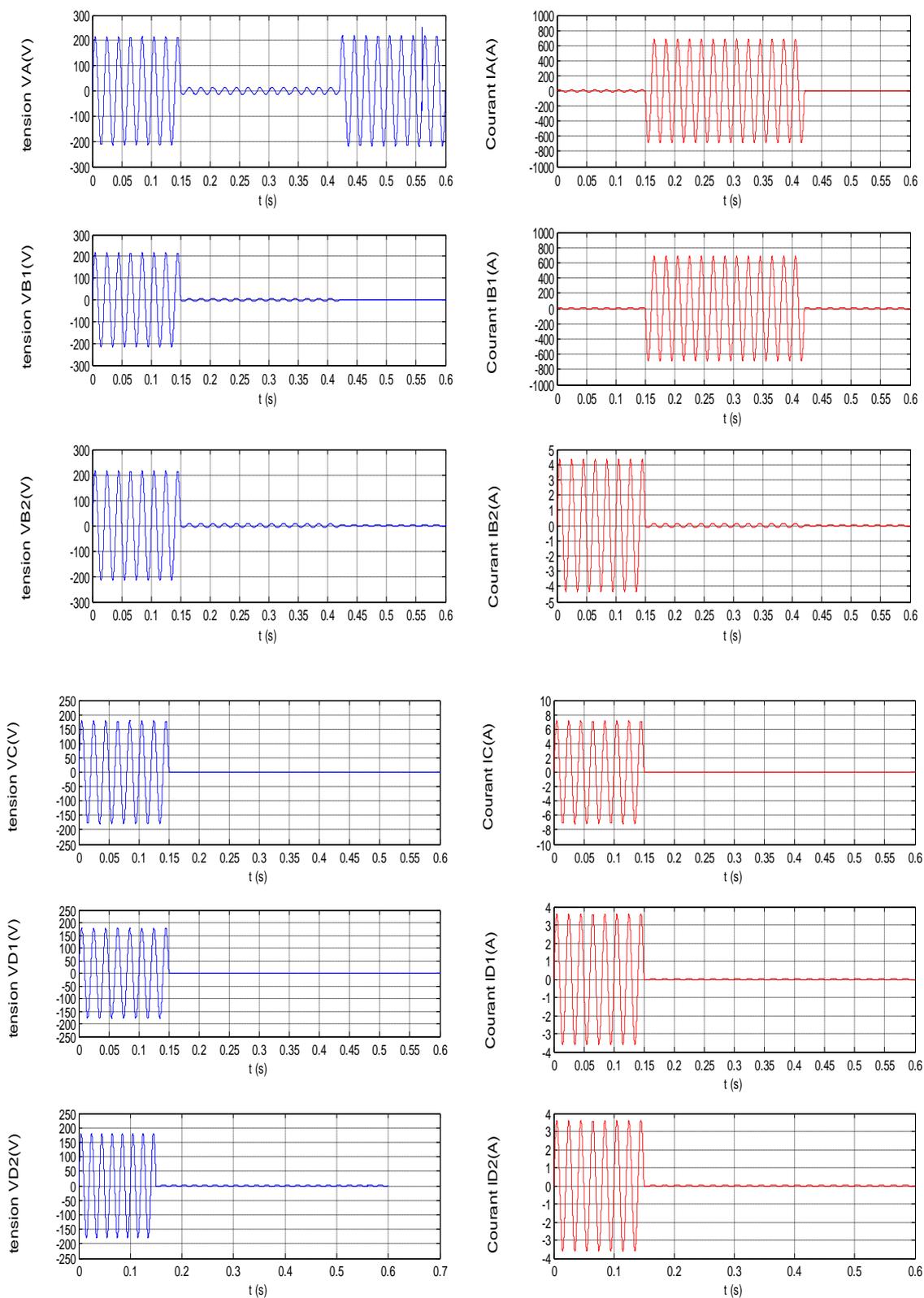


Figure IV.89. Tensions et courants des disjoncteurs A, B1,B2,C,D1 et D2.avec défaut ① avec défaillance du disjoncteur B1.

IV.5.2. Sélectivité logique à câble pilote d'un système de protection à quatre niveaux

La Figure .IV.90 représente un schéma globale d'un réseau électrique identique à la précédente, protégée par la sélectivité logique à câble pilote.

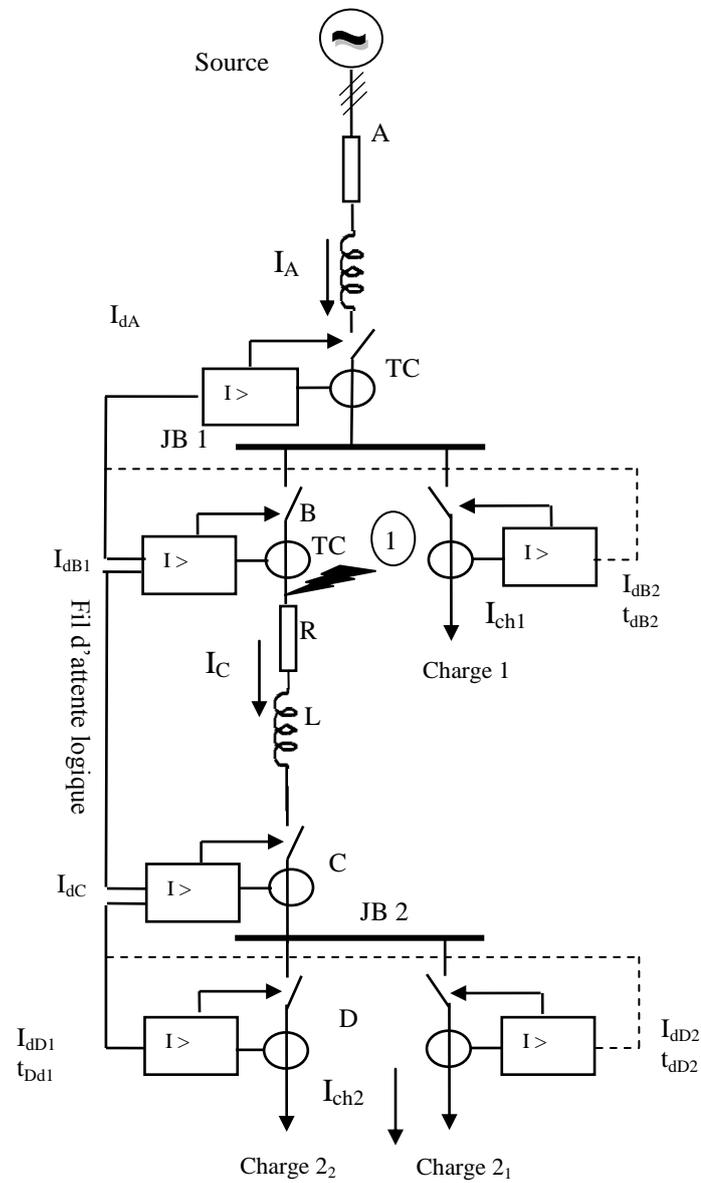


Figure IV.90. Système à sélectivité logique à quatre niveaux de protection.

Le schéma de simulation réalisé sous Simulink de Matlab est montré sur la figure suivante.

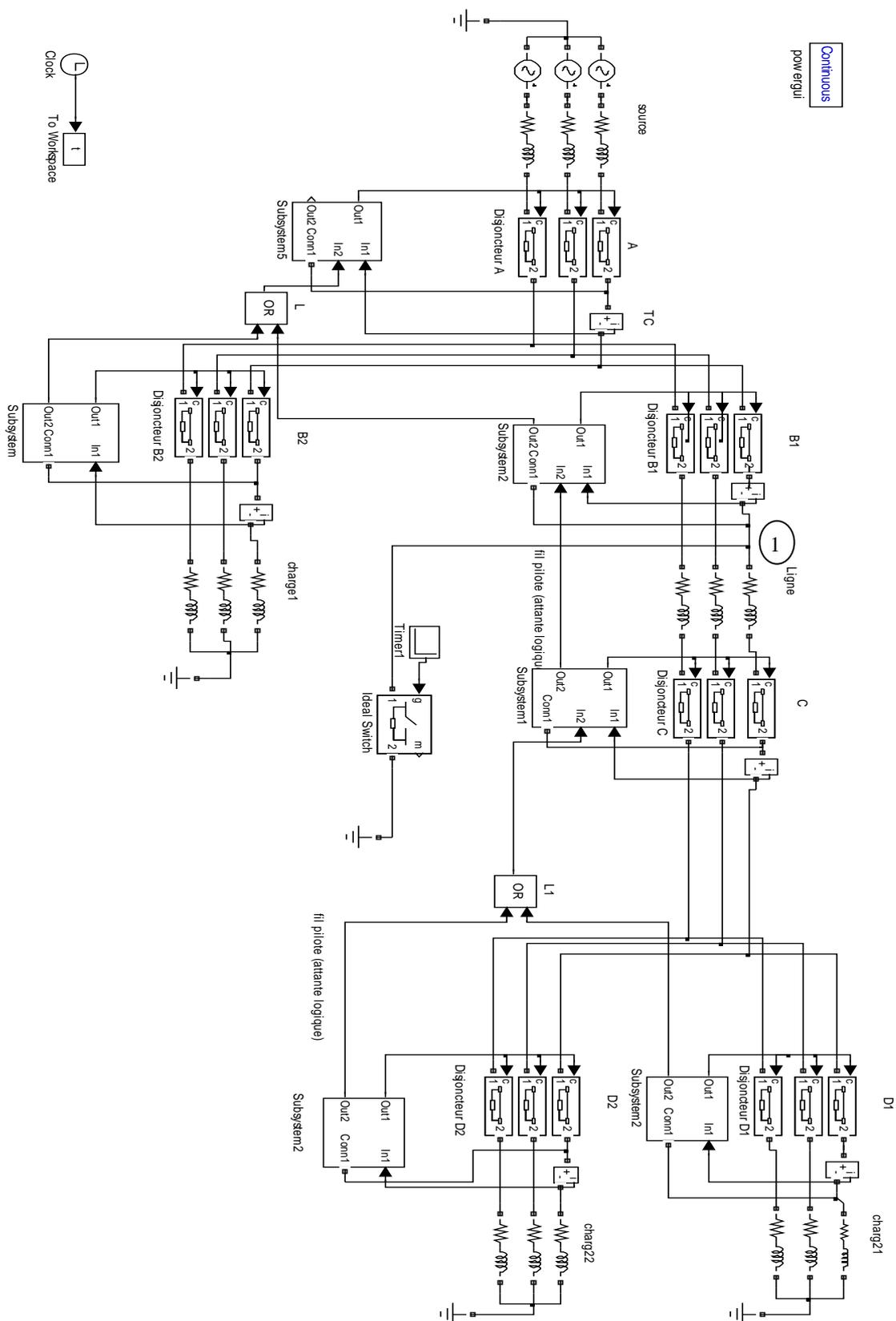


Figure IV.91. Schéma de la simulation de la sélectivité logique à câble pilote d'un réseau triphasé à quatre niveaux de protection.

IV.5.2.2. Simulation du défaut ① du disjoncteur B1

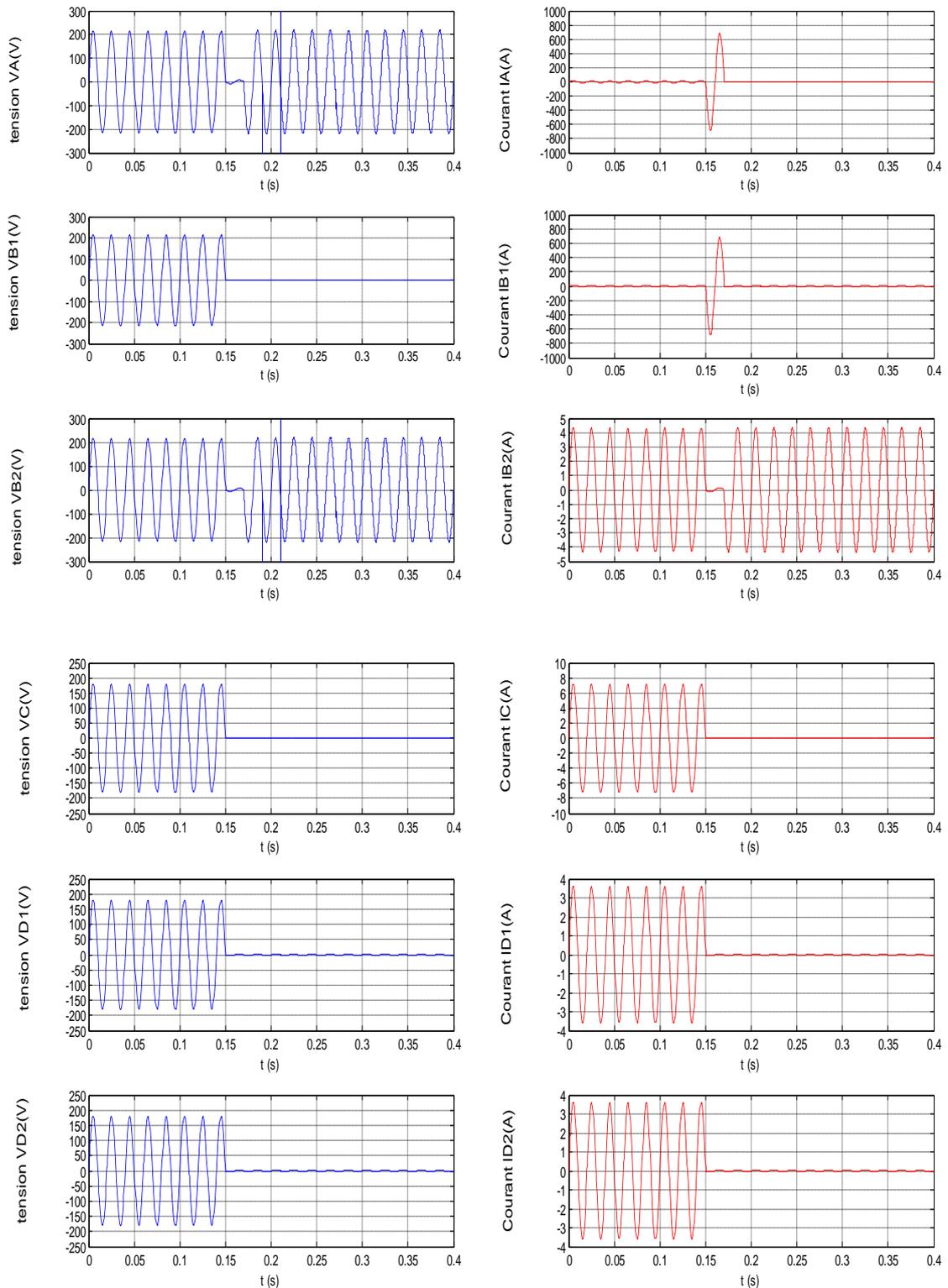


Figure IV.92. Tensions et courants des disjoncteurs A, B1,B2,C,D1 et D2.avec défaut ① du disjoncteur B1.

IV.5.2.3. Simulation du défaut ① avec défaillance du disjoncteur B1

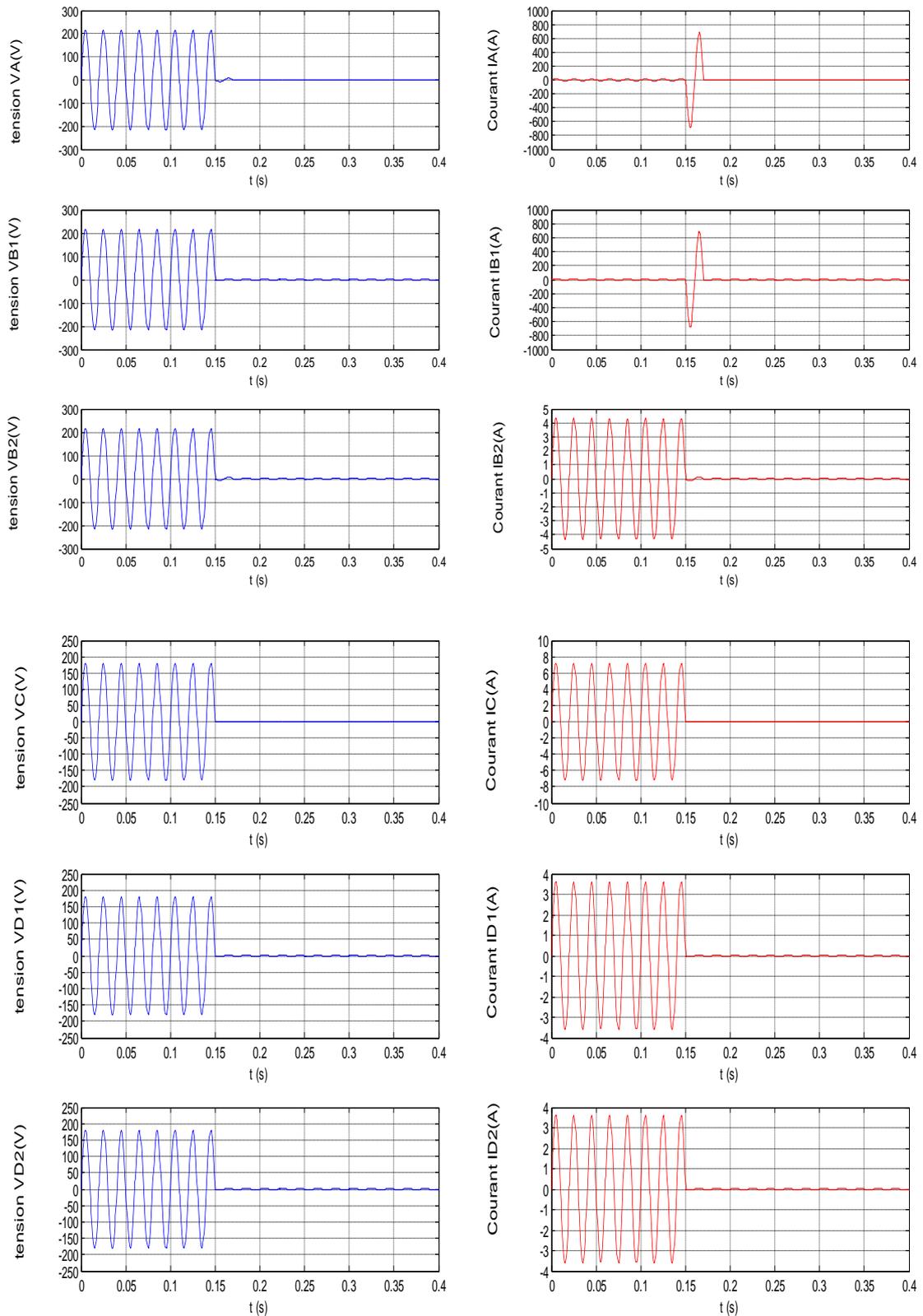


Figure IV.93. Tensions et courants des disjoncteurs A, B1,B2,C,D1 et D2.avec défaut ① avec défaillance du disjoncteur B1.

IV.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons traité la simulation sous Simulink/Matlab des différents types de sélectivité des protections. En essayant deux exemples, le premier considère un réseau à deux niveaux de protection et le deuxième concerne d'un réseau à quatre niveaux de protections. D'après les résultats que nous avons gagnés, nous remarquons que la sélectivité logique à câble pilote et la sélectivité logique à CPL est très efficace en termes de continuité de service, la fonction secours et la rapidité à l'élimination des défauts. Les résultats de la simulation numérique montrent que la sélectivité logique soit avantageuse par rapport à la sélective chronométrique en terme du temps de réponse c-à-d que le temps de coupure du courant est plus court dans la sélectivité logique.