

PMCF ONDULEURS

Nous avons connu et pratiqué pour la plupart d'entre nous les locomotives à courant continu avec la mise en vitesse en éliminant des résistances qui étaient en fonte ou en tôle. On utilisait les différents couplages des moteurs (série, série-parallèle, parallèle-série dans certains cas, parallèle) et pour finir le shuntage des inducteurs. Sur les locomotives monophasées, c'était le graduateur avec les plots pour mettre ou enlever des spires sur l'enroulement du secondaire du transformateur. Certaines locomotives monophasées avaient un groupe tournant qui transformait le courant monophasé en courant triphasé pour alimenter les moteurs de traction.

En 1971 les hacheurs de courant sont expérimentés en conditions réelles sur la CC 20002 démotorisée qui alimentait les moteurs de traction de la BB 9252. Ces essais se poursuivent dans une machine unique la BB 7003. Ainsi sont nées à partir de 1976 les BB 7200, BB 15000, BB 22200. Les hacheurs de courant sont plus économes que les résistances qui diffusent leur énergie en chaleur, donc en pure perte (effet joule).

La construction de la ligne TGV Sud-Est, mise en service partiellement en 1981, amène un nouveau type de train, le TGV, fleuron de la technologie ferroviaire française mais qui utilise une technique éprouvée: le hacheur de courant dans sa formule BB 22200 et toujours avec des moteurs à courant continu (moteurs série pour être précis).

En 1989 la mise en service du TGV Atlantique fait entrer en service les moteurs synchrones et l'informatique à bord (GDI).

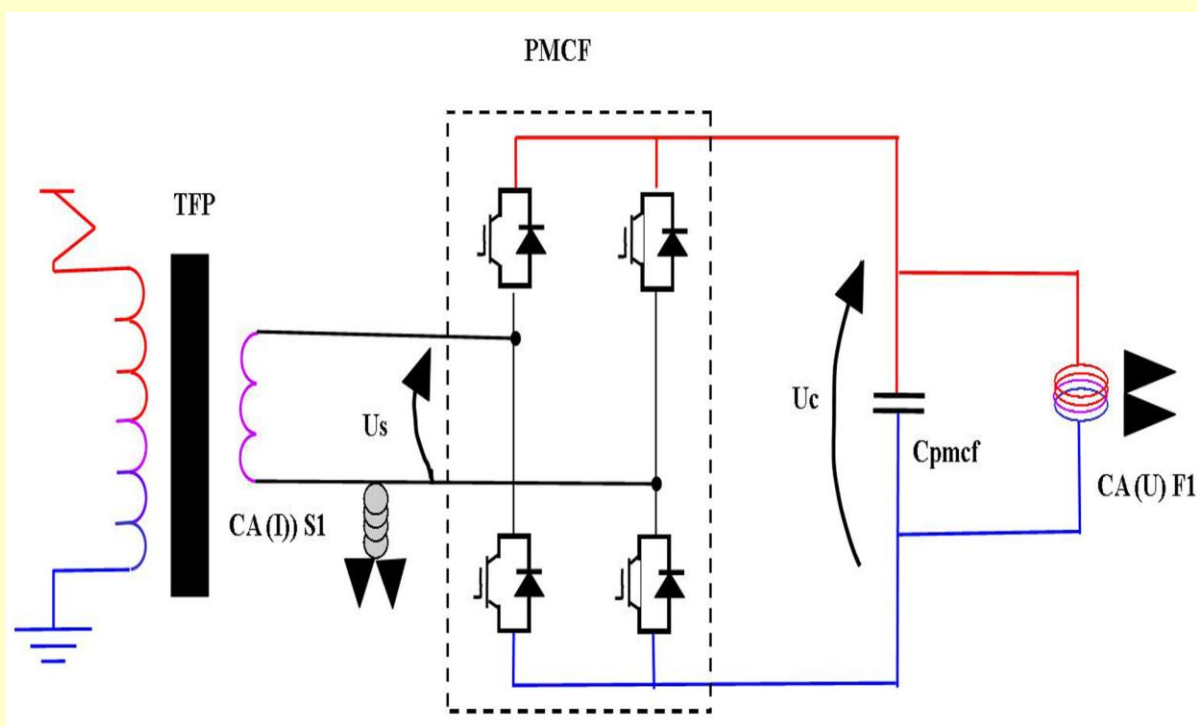
A partir de 1996 une nouvelle technologie fait son apparition dans les circuits de puissance des engins moteurs: le PMCF comme Pont Monophasé à Commutation Forcée. Il apparaît d'abord sur les BB 36000 puis les BB 27000/37000, le TGV POS, l'AGV d'Alstom.

Transformer l'énergie électrique en énergie mécanique:

1-Transformer l'énergie de la caténaire en énergie électrique continue :

Le PMCF (appelé aussi convertisseur 4 quadrants) est un élément du circuit de puissance qui assure les échanges d'énergie entre la caténaire (par l'intermédiaire du transformateur) et le bus qui alimente l'onduleur.

Il utilise la technologie "ONIX" avec des semi-conducteurs du type IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) refroidis avec un mélange d'eau et de glycol (éthylène-glycol).



Le PMCF, redresseur à modulation de largeur d'impulsion, a plusieurs fonctions:

- délivrer une tension continue en sortie.
- maintenir le facteur de puissance proche de l'unité.
- diminuer les courants harmoniques renvoyés en ligne.
- compenser l'instabilité basse fréquence réseau (25 KV).
- sous continu, les diodes de ce convertisseur sont utilisées pour assurer l'unidirectionnalité du courant en traction.
- permet le freinage électrique en récupération ou rhéostatique en cas de perte de la tension caténaire ou de disjonction.

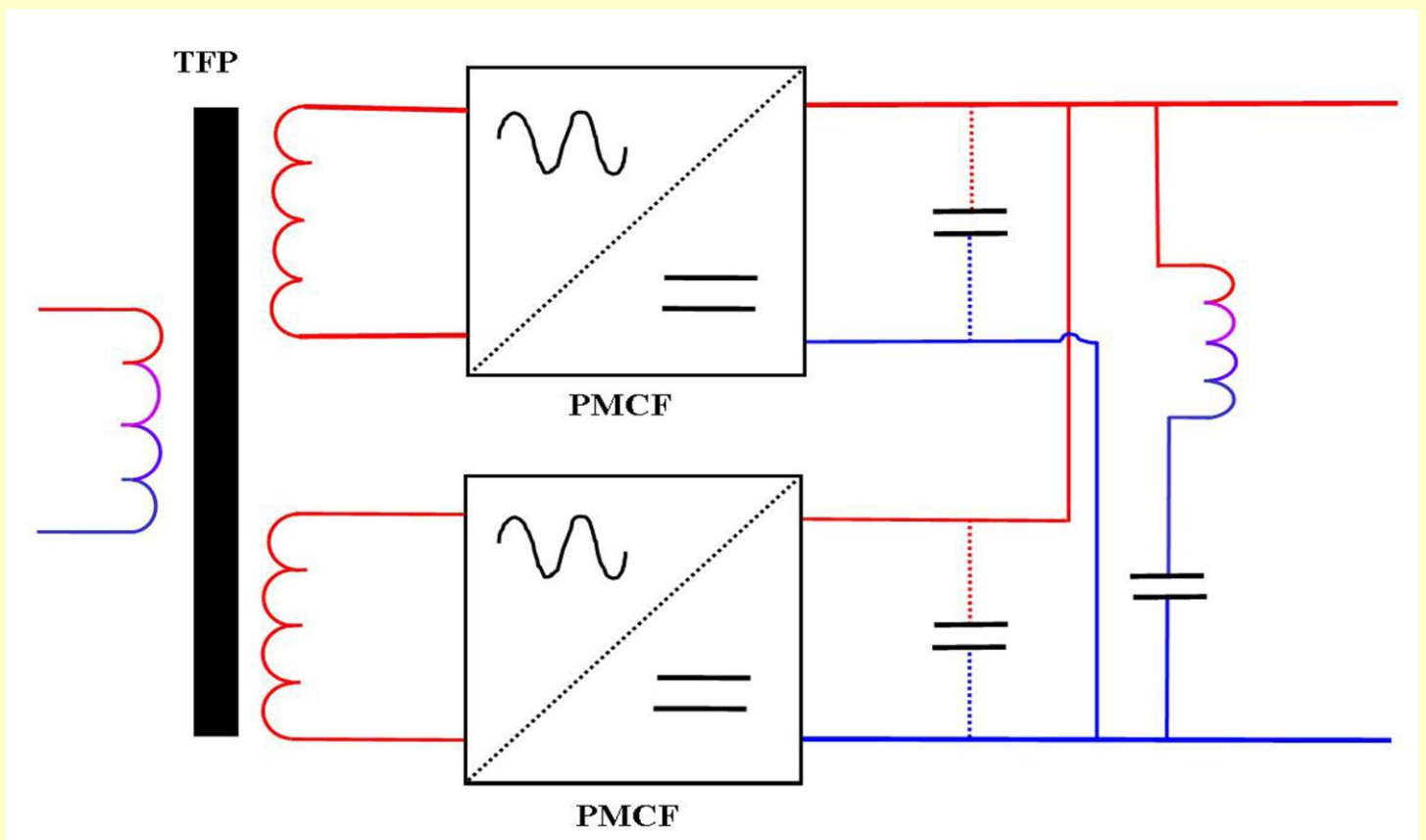
Sous courant monophasé, il existe trois grandes familles de schémas:

- le bus commun.
- le bus séparé.
- le bus séparé commun.

Il existe de nombreuses variantes suivant le nombre d'onduleurs sur le bus, le nombre de moteurs par onduleur, le branchement des auxiliaires.

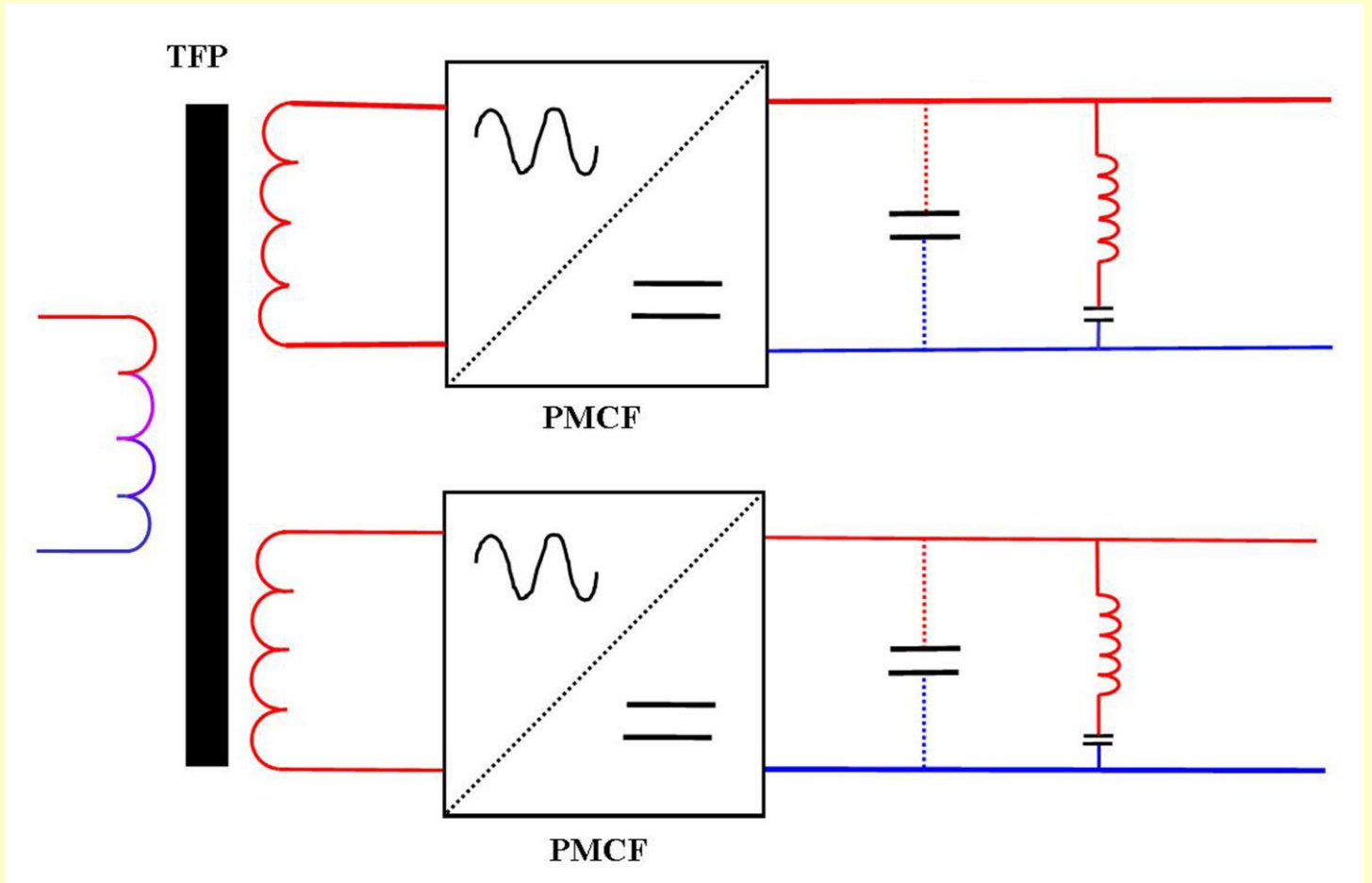
Le bus commun:

- Plusieurs PMCF alimentent le même bus :



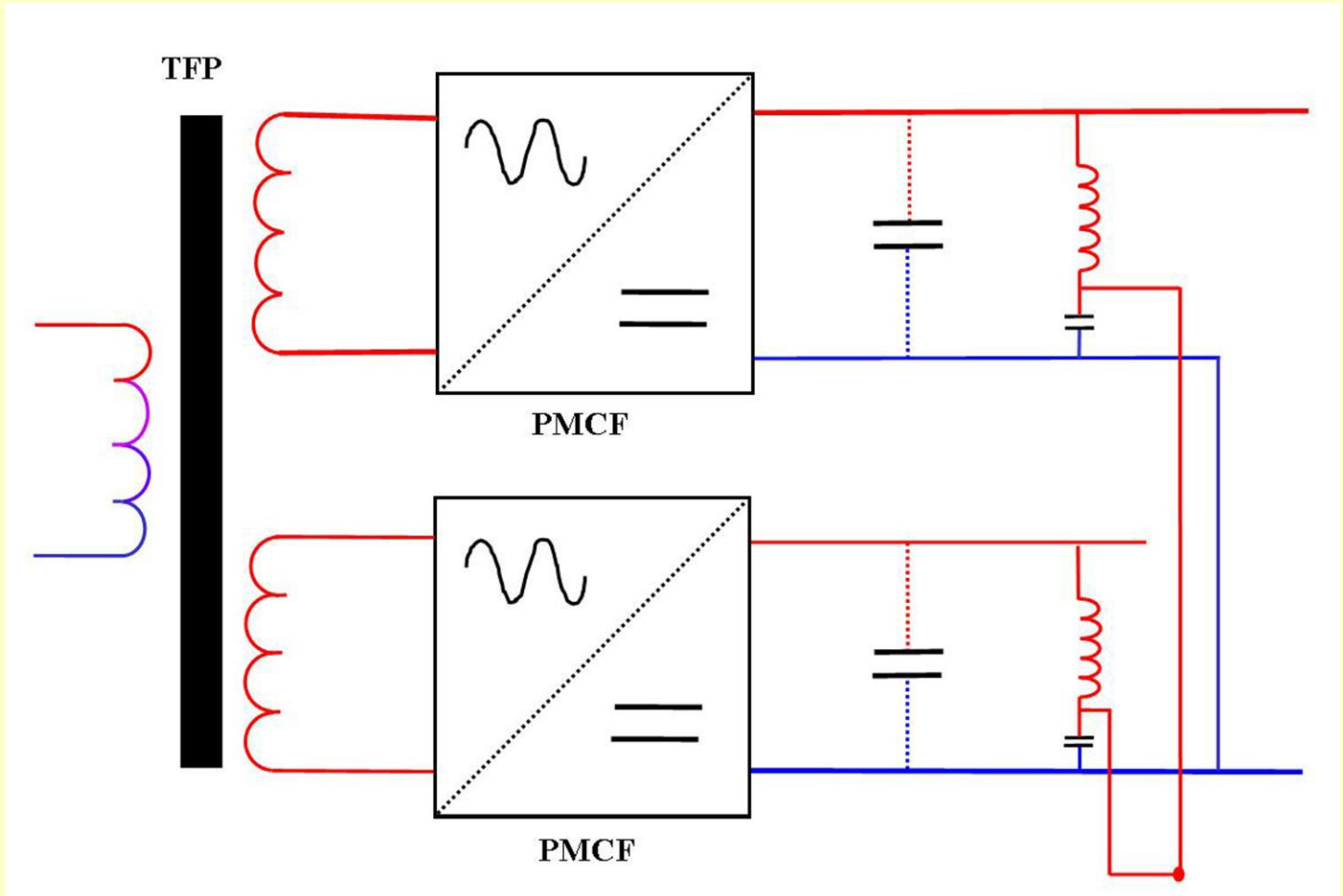
Le bus totalement séparé:

- Un PMCF alimente un seul bus :



Le bus séparé commun:

Il est sensiblement identique au bus séparé mais les filtres de chaque bus sont reliés au point milieu. Ceci a pour effet de rééquilibrer les puissances au niveau de chaque PMCF car les inductances du filtre laissent passer les composantes continues. Par rapport à un bus commun, si un PMCF casse, on a moins de risque de casser d'autres éléments.



Commande maître régulation et commande esclave régulation:

Sur un bus commun, plusieurs PMCF sont branchés sur le même bus. Si tous les PMCF cherchent à réguler la tension du bus, il y aura un conflit. Puisqu'il n'y a qu'un seul bus, il est logique qu'il n'y ait qu'une seule régulation de tension bus. Cette régulation de tension détermine une consigne de courant qui va être répartie sur tous les PMCF (c'est l'objectif à atteindre). Chaque PMCF fait donc sa propre régulation de courant secondaire).

La commande PMCF qui fait la régulation de tension est la commande maître régulation.

La commande PMCF qui ne fait que la régulation de courant dans son propre secondaire est une commande esclave régulation.

Bus commun: on a un PMCF maître régulation et tous les autres sont des esclaves régulation.

Bus séparé: tous les PMCF sont des maîtres régulation et ils régulent leur propre tension.

Bus séparé commun: c'est l'équivalent du bus commun, il y a un PMCF maître régulation et des esclaves régulation.

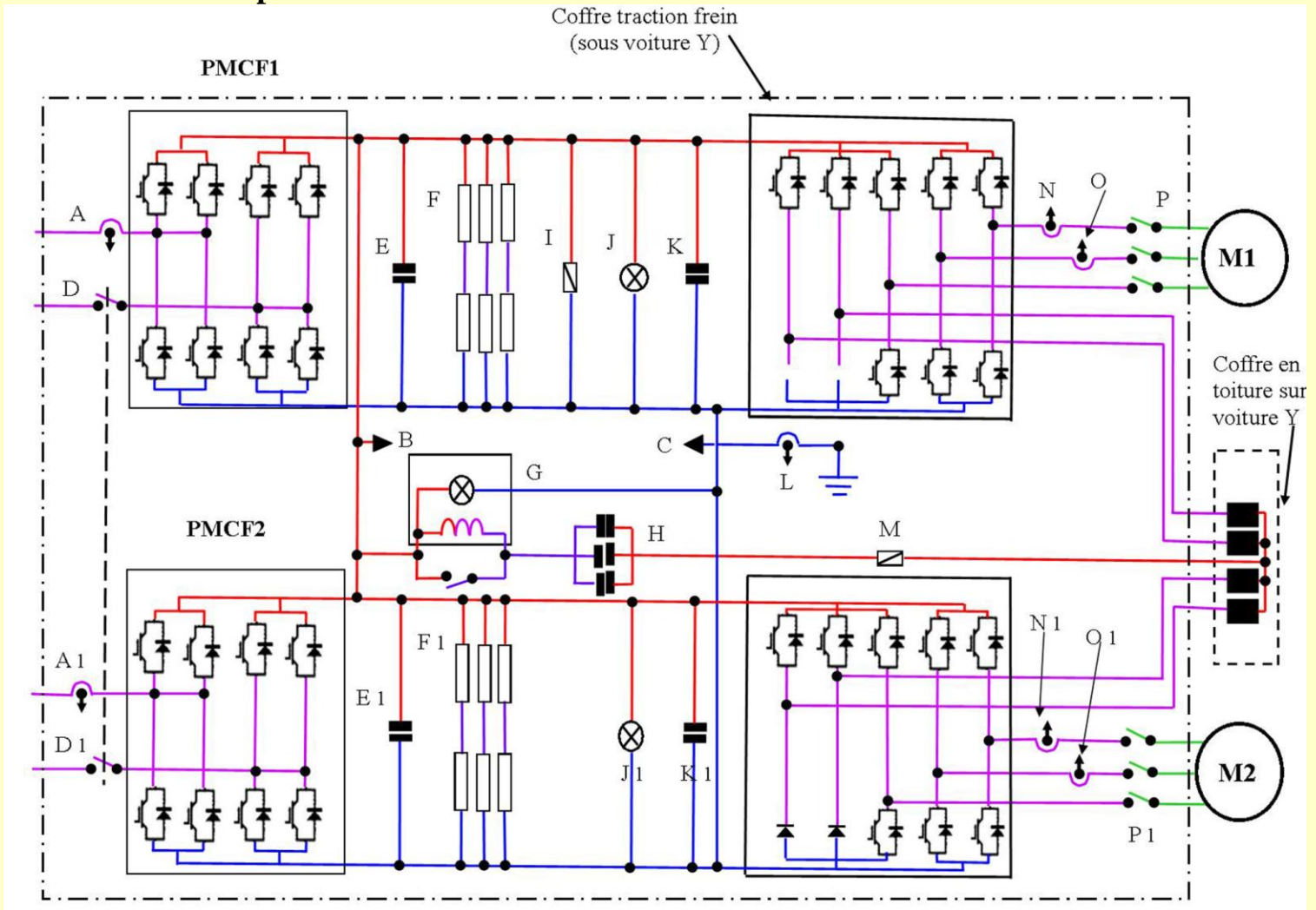
2-Transformer l'énergie électrique continue en énergie électrique triphasée.

Cette fonction est assurée par l'onduleur de traction (avec bras hacheurs rhéostatiques).

L'onduleur est composé de bras à IGBT. L'IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*) est un dispositif semi-conducteur de la famille des transistors qui est utilisé comme interrupteur électronique, principalement dans les montages de l'électronique de puissance.

C'est l'onduleur qui alimente le moteur de traction en courant triphasé.

3-Le schéma complet d'un coffre traction avec PMCF et onduleurs



A et A1 * CA (I)PMCF1 *A , CA (I)PMCF2 * A1

B et C * Vers auxiliaires traction bogie et confort

D et D1 * H (IS) PMCF

E et E1 * CAP PMCF1 *E , CAP PMCF2 *E1

F et F1 * R1 à R6 R 12 CAP PMCF-OND1 *F, R8 à R12 CAP PMCF-OND2 *F1

G * Coffre self Auxiliaire
LS 1/2 CAP-OND
Self 2F
H-2F

H * CAP 1,2 et 3

I * CA (U) OND

J et J1 * LS CAP OND1 *J, LS CAPOND2 *J1

K * CAP OND1 *K, CAP OND2 *K1

L * CAP (I) DIFF

M * Q (I) RH

N et N1 * C(I) OND1 *N, C (I) OND2 *N1

O et O1 * CA (IS) OND1 *O, CA(IS) OND2 *O1

P et P1 * C(IS)OND *P, C(IS) OND2 *P1

4-Transformer l'énergie électrique du bus de traction en énergie électrique auxiliaire (charges traction et confort).

Cette transformation est assurée par le CVS-AUX. Refroidissement des coffres traction, des résistances de freinage, climatisation...

Le pilotage et la surveillance des PMCF, onduleurs, hacheurs auxiliaires sont assurés par l'électronique de commande **AGATE** (***A**dvanced **G**eneric **A**lstom **T**ransport **E**quipment*) basée sur une architecture multiprocesseur, composée d'unités intelligentes communiquant par réseau **CAN** (**C**ontroller **A**rea **N**etwork) et de cartes d'interface entrées-sorties standardisées. Cette architecture permet de découpler les fonctions qui sont affectées dans des microcontrôleurs identiques et séparés.

5-Transformer l'énergie électrique triphasée en énergie mécanique (moteur).

-Utilisation des moteurs asynchrone (BB 36000 par ex).

-Le dernier né est le moteur synchrone à aimants permanents. Il développe 720 KW pour 740 Kg, c'est-à-dire un rapport massique de 0,97, exceptionnel. Il est plus puissant qu'un moteur de TGV SE pour la moitié de masse, ce qui a permis de le placer dans le bogie et non pas de le fixer sous caisse permettant ainsi de réaliser la motorisation répartie type AGV. Il a également été utilisé pour le record du monde à 574,8 km/h, deux bogies intermédiaires ont été équipés de ce moteur. A cette occasion il a développé 1 MW et a ensuite tourné au banc d'essai en développant 800 KW sans difficulté.

Ce moteur est auto-ventilé. Il est équipé de synchronorésolveur, appareil permettant à la commande de connaître en permanence la position exacte du rotor et ainsi permettre la régulation du couple. Il est équipé de sonde de température.

Le rotor est composé d'un alliage de samarium et de cobalt sous la forme de poudre métallique frittée. Le rotor est alors magnétisé de façon permanente.

Documentation proposée par Michel Durochat