

(86) **Date de dépôt PCT/PCT Filing Date:** 2012/07/12

(87) **Date publication PCT/PCT Publication Date:** 2013/01/24

(45) **Date de délivrance/Issue Date:** 2018/06/26

(85) **Entrée phase nationale/National Entry:** 2013/12/23

(86) **N° demande PCT/PCT Application No.:** CA 2012/050479

(87) **N° publication PCT/PCT Publication No.:** 2013/010270

(30) **Priorités/Priorities:** 2011/07/15 (CA2746304);
2011/07/29 (CA2747880)

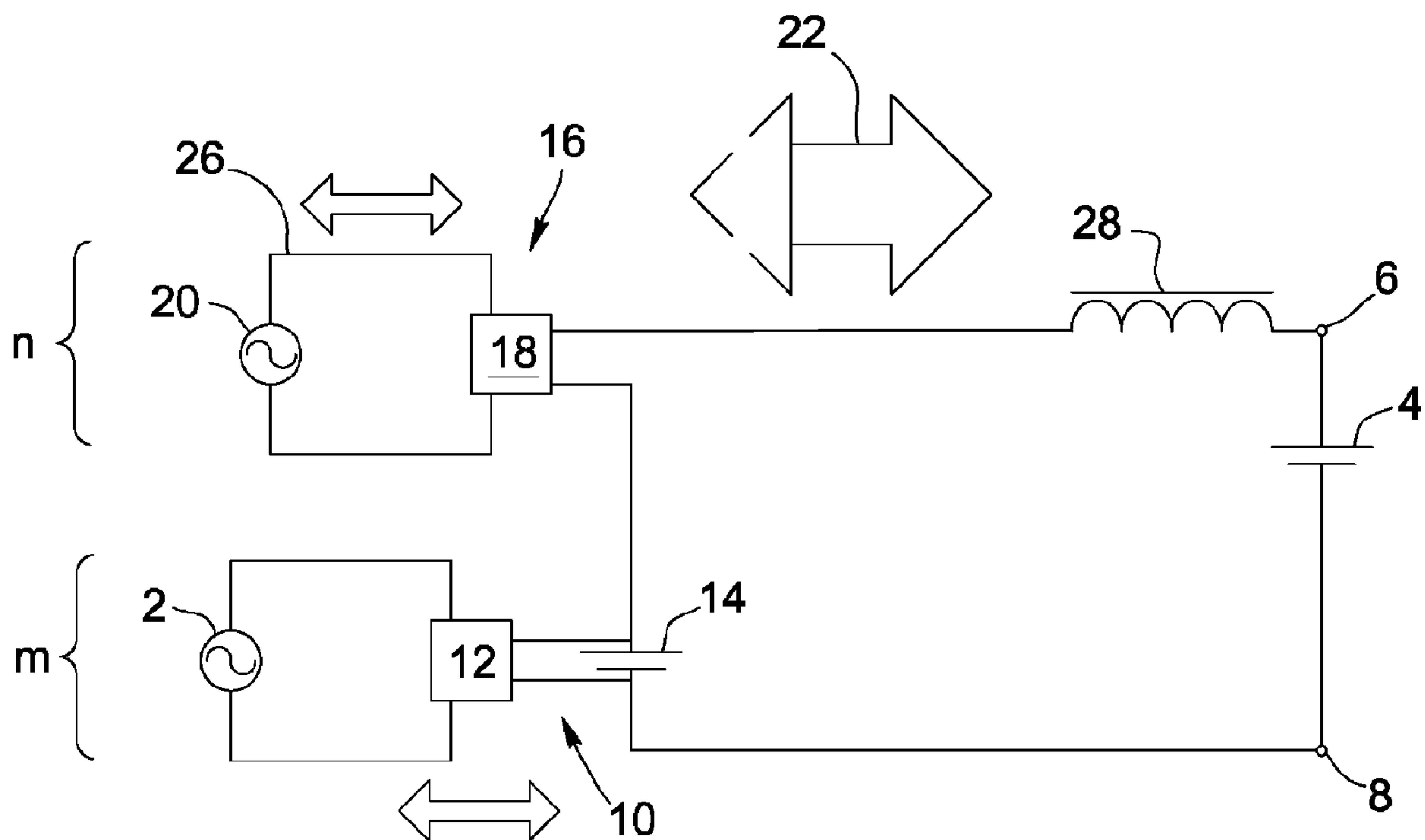
(51) **Cl.Int./Int.Cl. *H02J 7/00*** (2006.01),
H02J 15/00 (2006.01)

(72) **Inventeur/Inventor:**
BEAUREGARD, FRANCOIS, CA

(73) **Propriétaire/Owner:**
HYDRO-QUEBEC, CA

(74) **Agent:** MORIN, LUC

(54) **Titre : SYSTEME DE RECHARGE RAPIDE MULTI-NIVEAUX**
(54) **Title: RAPID MULTI-LEVEL RECHARGE SYSTEM**



(57) Abrégé/Abstract:

Un système de recharge rapide multi-niveaux est proposé. Le système utilise une batterie de puissance intermédiaire comme point d'appui de tension de sorte qu'un convertisseur possédant une fraction de la tension de sortie puisse commander la totalité du transit de puissance vers ou de la batterie d'un véhicule ou un dispositif électrique de puissance. La batterie intermédiaire comporte plusieurs étages en série, associés à des petits chargeurs respectifs permettant une gestion de l'équilibre de charge des étages de la batterie intermédiaire, puisque les chargeurs peuvent être commandés de façon à varier séparément la contribution de chaque étage.

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international(43) Date de la publication internationale
24 janvier 2013 (24.01.2013)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2013/010270 A1(51) Classification internationale des brevets :
H02J 7/00 (2006.01) *H02J 15/00* (2006.01)(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/CA2012/050479(22) Date de dépôt international :
12 juillet 2012 (12.07.2012)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
2746304 15 juillet 2011 (15.07.2011) CA
2747880 29 juillet 2011 (29.07.2011) CA(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **HY-DRO-QUÉBEC** [CA/CA]; 75, boul. René-Lévesque O., Montréal, Québec H2Z 1A4 (CA).

(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : **BEAUREGARD, François** [CA/CA]; 564, de La Vérendrye, Boucherville, Québec J4B 2Y1 (CA).(74) Mandataire : **MORIN, Luc**; 210, boul. de Montarville, Suite 2009, Boucherville, Québec J4B 6T3 (CA).

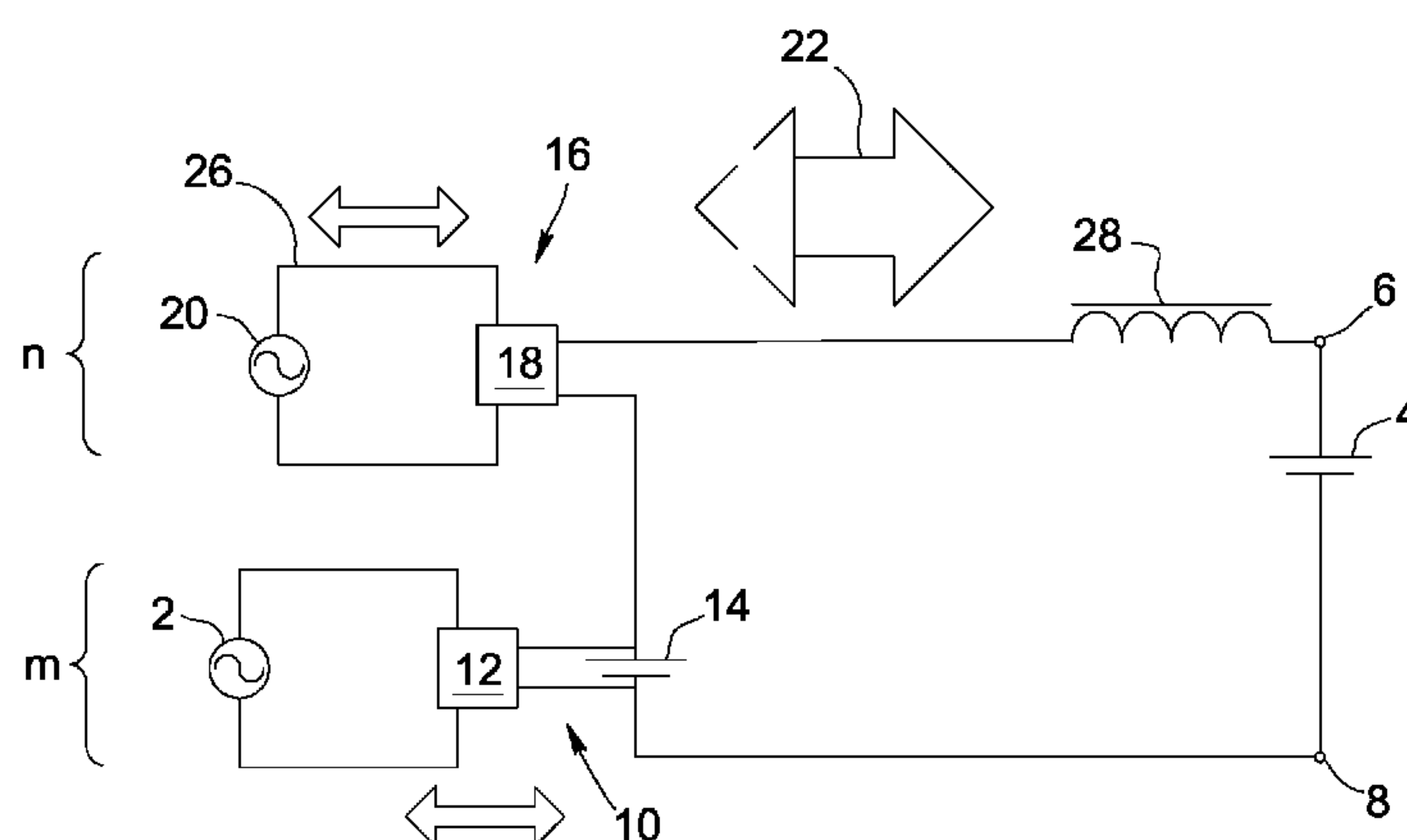
(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : RAPID MULTI-LEVEL RECHARGE SYSTEM

(54) Titre : SYSTÈME DE RECHARGE RAPIDE MULTI-NIVEAUX

**FIG. 2**

(57) Abstract : The invention relates to a rapid multi-level recharge system. The system uses an intermediate power battery as a voltage point, such that a converter having a fraction of the output voltage can control the entire transfer of power to or from the battery of a vehicle or an electric power device. The intermediate battery comprises multiple stages in series, associated with small respective chargers that allow the stage load balancing of the intermediate battery to be managed since the chargers can be controlled in such a way as to vary the contribution of each stage separately.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

WO 2013/010270 A1



Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

Un système de recharge rapide multi-niveaux est proposé. Le système utilise une batterie de puissance intermédiaire comme point d'appui de tension de sorte qu'un convertisseur possédant une fraction de la tension de sortie puisse commander la totalité du transit de puissance vers ou de la batterie d'un véhicule ou un dispositif électrique de puissance. La batterie intermédiaire comporte plusieurs étages en série, associés à des petits chargeurs respectifs permettant une gestion de l'équilibre de charge des étages de la batterie intermédiaire, puisque les chargeurs peuvent être commandés de façon à varier séparément la contribution de chaque étage.

- 1 -

SYSTÈME DE RECHARGE RAPIDE MULTI-NIVEAUX

DOMAINE DE L'INVENTION

- 5 L'invention porte en général sur un système de recharge, et plus particulièrement sur un système de recharge rapide multi-niveaux avec étages à convertisseur et de stockage interne imbriqués.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE

10

L'avènement nouveau de batteries de puissance, entre autres au Li-ion avec nanotitanate, présentant une très faible impédance interne, une très bonne résistance aux décharges profondes et une durée de vie de plusieurs dizaines de milliers de cycles, ouvre la porte à un besoin criant pour des chargeurs
15 rapides. Il est maintenant possible de recharger un véhicule en 5 minutes. Par exemple, des autobus avec une quantité minimale de batteries embarquées peuvent rouler une vingtaine de kilomètres de façon autonome et se recharger en quelques minutes au terminus.

- 20 Un problème réside dans la réalisation économique d'un chargeur pouvant manipuler les niveaux de puissance requis par de telles vitesses de recharges. On parle de puissances de l'ordre de centaines de kilowatts voire de mégawatts dans le cas de trains ou d'autobus.

- 25 Non seulement le chargeur doit manipuler ces niveaux de puissances, mais en plus, les points de raccordements compatibles au réseau électrique sont limités ou coûteux. Dans le cas d'une station d'autobus, la puissance souscrite du réseau peut être établie en fonction de l'heure de pointe (qui correspond à la puissance maximale facturable), mais le reste du temps, la consommation peut
30 être beaucoup moindre. Un cas extrême se situe dans une application résidentielle où le chargeur est destiné à être utilisé pour quelque 10 minutes par jour pour faire le plein d'un véhicule électrique e.g. à 100 kilowatts.

- 2 -

Il y a donc un besoin pour un chargeur très puissant et qui comporte un stockage interne destiné à niveler la puissance vue du réseau électrique.

- 5 Une solution classique consiste à utiliser un petit chargeur qui fonctionne sur de longues périodes, préférablement aux heures où la demande énergétique est faible, afin de stocker l'énergie dans une batterie intermédiaire locale, elle aussi de puissance. Lorsqu'un véhicule se raccorde pour une recharge rapide, un puissant convertisseur DC-DC est utilisé pour transférer un gros bloc d'énergie
- 10 de la batterie intermédiaire vers celle du véhicule. Cette solution résout le problème du facteur d'utilisation, mais requiert toujours un convertisseur de taille.

De plus, la batterie intermédiaire requiert un système d'équilibrage de la charge

15 entre les diverses cellules et modules qui la constituent. Ce système rajoute aux coûts voire même aux pertes énergétiques de l'ensemble.

Ensuite, la prolifération des chargeurs avec électronique de puissance risque de détériorer la qualité de l'onde électrique du réseau. Les harmoniques et les

20 interférences générés par des formes d'ondes découpées en sont les principaux responsables. Les normes sur les appareils de ce type ne peuvent qu'évoluer en resserrant les critères d'émissions électromagnétiques. Il y a donc un besoin pour l'amélioration de la qualité de l'onde de courant de tels chargeurs.

25

Pour ce faire, les convertisseurs de puissance à facteur de puissance unitaire avec modulation "sinusoidal pulse width modulation" ("sinusoidal PWM" ou SPWM) constituent une solution techniquement attrayante quoique des fréquences de modulation élevées doivent être utilisées, ce qui entraîne des

30 pertes de commutation. Une variante multi-niveaux de tension permet de réduire la fréquence de commutation tout en préservant la qualité de l'onde.

- 3 -

Cependant, la fourniture et le maintien de tensions continues à plusieurs niveaux du côté DC pose des problèmes de commande et/ou de complexité.

5 Finalement, il existe une demande croissante pour que des appareils raccordés au réseau puissent lui apporter assistance dans certaines circonstances. Que ce soit pour du nivellement de puissance (i.e. contribuer jusqu'à un certain point à fournir de la puissance en période de pointe), du support de tension par fourniture de puissance réactive ou même du filtrage d'harmonique. Donc un chargeur qui pourrait satisfaire ces besoins constitue un avantage.

10

SOMMAIRE

15 Un objet de l'invention est de proposer un système de recharge rapide multi-niveaux avec étages de stockage intermédiaire et de transfert d'énergie imbriqués.

20 Un autre objet de l'invention est de proposer un tel système de recharge rapide qui peut être très puissant et qui peut niveler la puissance vue du réseau électrique.

20

Un autre objet de l'invention est de proposer un tel système de recharge rapide qui peut utiliser un convertisseur de taille réduite.

25 Un autre objet de l'invention est de proposer un tel système de recharge rapide qui peut permettre d'améliorer la qualité de l'onde de courant de tels types de systèmes ou chargeurs.

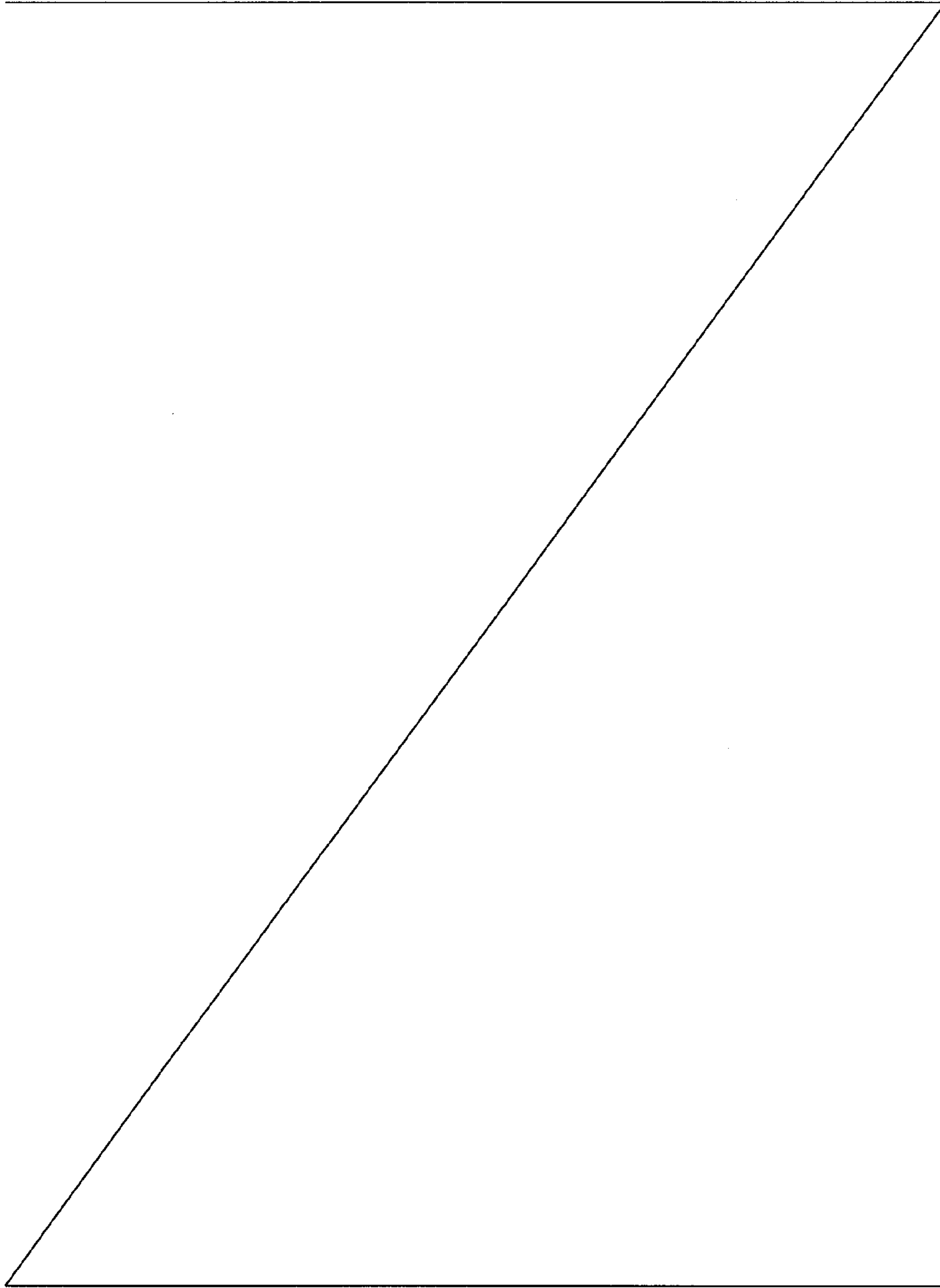
30 Un autre objet de l'invention est de proposer un tel système de recharge rapide qui peut servir d'appareil raccordé au réseau apte à lui apporter assistance dans certaines circonstances.

Selon un aspect de l'invention, il est proposé un système de recharge rapide multi-niveaux pour échanger de l'énergie avec un dispositif électrique de puissance qui impose une tension prédéterminée, le système de recharge rapide comprenant:

- 5 des bornes de connexion avec le dispositif électrique de puissance;
un nombre n d'étages à convertisseur et un nombre m d'étages de stockage interne d'énergie connectés en série les uns aux autres entre les bornes de connexion, avec $n \geq 1$, $m \geq 0$ et $n+m \geq 2$, chaque étage à convertisseur ayant un convertisseur de puissance couplé, d'un côté du
10 convertisseur de puissance opposé à un côté des bornes de connexion, à un arrangement comprenant au moins un d'un module de batterie de puissance intermédiaire et une connexion à une source d'alimentation électrique, chaque étage de stockage interne d'énergie ayant un module de batterie de puissance intermédiaire, chaque module de batterie de puissance intermédiaire étant
15 caractérisé par une tension à vide élevée par rapport à des chutes de tension dues à des impédances internes du module de batterie de puissance intermédiaire, le module de batterie de puissance intermédiaire de chaque étage de stockage interne d'énergie et le convertisseur de puissance de chaque étage à convertisseur étant connectés ensemble de manière à être en condition
20 d'échanger de l'énergie avec le dispositif électrique de puissance;
une unité de contrôle contrôlant une contribution de chaque étage à convertisseur et, le cas échéant, de chaque étage de stockage interne d'énergie pour échanger de l'énergie avec le dispositif électrique de puissance;
et
25 une inductance connectée entre une des bornes de connexion et un des étages à convertisseur.

De manière non limitative, le système de recharge rapide selon l'invention peut être utilisé pour la recharge rapide de véhicules électriques incluant voitures,
30 autobus, trains, métros, tramways et trolleybus. Il peut être utilisé dans des stations de recharge publiques (stations service) ou résidentielles. Il peut être utilisé pour le stockage local pour freinage régénératif de métro ou de train DC

entrant en station. Il peut jouer un rôle pour l'assistance du réseau d'alimentation électrique pour la gestion de charge, le nivellement de pointe de charge et la compensation de puissance réactive ou des harmoniques. Il peut permettre la gestion intégrée de l'équilibrage des cellules de batteries.



- 5 -

DESCRIPTION BRÈVE DES DESSINS

Une description détaillée des réalisations préférées de l'invention sera donnée ci-après en référence avec les dessins suivants:

5

Figure 1 est un diagramme schématique montrant que dans un chargeur classique, le convertisseur de sortie doit être dimensionné pour porter la totalité de la puissance.

10 Figure 2 est un diagramme schématique illustrant l'utilisation d'une batterie de puissance intermédiaire permettant une commande d'un grand flux de puissance avec seulement un petit convertisseur, un chargeur lent permettant à long terme un maintien de la charge de la batterie de puissance intermédiaire.

15 Figure 3 est un diagramme schématique illustrant que, afin de mieux gérer l'équilibrage des niveaux de charge d'une batterie intermédiaire, la batterie intermédiaire peut être subdivisée en modules possédant chacun son chargeur lent.

20 Figure 4 est un diagramme schématique montrant une réalisation où une opération non simultanée de chargeurs lents, d'une part, et de convertisseurs de sortie, d'autre part, permet d'éviter d'avoir recours à des transformateurs d'isolation par rapport au réseau électrique.

25 Figure 5 est un diagramme schématique illustrant que des modules de contacteurs sont utilisés pour présélectionner un niveau de tension fixe plus favorable pour les convertisseurs de sortie.

Figure 6 est un diagramme schématique montrant graphiquement une stratégie
30 d'opération conjointe des contacteurs et des convertisseurs.

- 6 -

Figure 7 est un diagramme schématique montrant une adaptation triphasée avec mise en série des tensions de sortie des modules associés à chacune des phases.

- 5 Figure 8 est un diagramme schématique semblable à la Figure 7, mais avec mise en parallèle.

Figure 9A est un diagramme schématique détaillant un module convertisseur deux quadrants utilisé comme convertisseur de puissance.

10

Figure 9B est un diagramme schématique détaillant un module de contacteur.

Figure 10 est un diagramme schématique détaillant un module de convertisseur de tension quatre quadrants.

15

Figure 11 est un diagramme schématique montrant un système pour un équilibrage individuel des cellules d'un module de batterie intermédiaire.

- 20 Figure 12 est un diagramme schématique montrant une mise en contexte d'un système de recharge rapide multi-niveaux et de points de mesure utilisés pour sa commande.

Figure 13 est un diagramme schématique montrant une régulation en boucle fermée du courant instantané en agissant sur des modules individuels.

25

Figure 14 est un diagramme schématique montrant un exemple de contrôleur de haut niveau pour générer une consigne de courant instantané.

- 30 Figure 15 est un diagramme schématique montrant un exemple d'agencement de plusieurs chargeurs pour constituer une station-service

- 7 -

Figure 16 est un diagramme schématique montrant une réalisation du système de recharge rapide avec des chargeurs reliés par un bus parallèle.

Figure 17 est un diagramme schématique montrant une réalisation du système
5 de recharge rapide avec des chargeurs reliés par une boucle série.

Figure 18 est un diagramme schématique montrant une réalisation du système de recharge rapide avec des étages à convertisseur et de stockage interne d'énergie pouvant servir au stockage et à la restitution d'énergie avec un
10 dispositif électrique de puissance.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE DES RÉALISATIONS PRÉFÉRÉES

En référence à la Figure 2, il est montré un système de recharge rapide multi-
15 niveaux pour échanger de l'énergie avec un dispositif électrique de puissance 4 comme une batterie de puissance d'un véhicule électrique dans le cas illustré dans la Figure 2. Le système de recharge rapide a des bornes de connexion 6, 8 avec le dispositif électrique de puissance 4. Un nombre n d'étages à convertisseur 16 et un nombre m d'étages de stockage interne d'énergie 10
20 sont connectés en série entre les bornes de connexion 6, 8, avec $n \geq 1$, $m \geq 0$ et $n+m \geq 2$. Chaque étage à convertisseur 16 a un convertisseur de puissance 18 couplé à un arrangement ayant un module de batterie de puissance intermédiaire 14 (comme illustré e.g. à la Figure 18) et/ou une connexion 26 à une source d'alimentation électrique 20 connectée ou non à un réseau
25 électrique 2 dans le cas illustré dans la Figure 2. Chaque étage de stockage interne d'énergie 10 a un module de batterie de puissance intermédiaire 14. Chaque module de batterie de puissance intermédiaire 14 est caractérisé par une tension à vide élevée par rapport à des chutes de tension dues à des impédances internes (non illustrées) du module de batterie de puissance
30 intermédiaire 14. En étant caractérisée ainsi, les modules de batterie de puissance intermédiaire 14 permettent de réduire le calibre en tension des étages à convertisseur 16 (qui servent à un ajustement continu) ou leur

- 8 -

nombre, ce qui permet de réduire les coûts. Le module de batterie de puissance intermédiaire 14 de chaque étage de stockage interne d'énergie 10 et le convertisseur de puissance 18 de chaque étage à convertisseur 16 sont connectés ensemble de manière à être en condition d'échanger de l'énergie
5 avec le dispositif électrique de puissance 4. Une unité de contrôle 38 (illustrée à la Figure 11) contrôle une contribution de chaque étage à convertisseur 16 et, le cas échéant, de chaque étage de stockage interne d'énergie 10 pour échanger de l'énergie avec le dispositif électrique de puissance 4.

10 Le système de recharge rapide multi-niveaux peut prendre plusieurs configurations selon qu'il est destiné à des applications impliquant un réseau électrique 2 et une batterie de puissance comme dispositif électrique de puissance 4 (comme illustré dans les Figures 2, 3, 4, 5, 7, 8 et 15), ou des applications de stockage et de restitution d'énergie comme dans le cas d'un rail
15 de métro comme dispositif électrique de puissance 4 (comme illustré dans les Figures 16, 17 et 18),

L'unité de contrôle 38 peut prendre la forme d'un microcontrôleur, ordinateur, circuit intégré, etc., avec processeur(s) ou unité(s) de traitement, mémoire(s) et
20 interface(s) de contrôle pouvant être connectée(s) aux différents composants à contrôler ou générant des mesures dans le système, et configurable par programmation ou autre façon appropriée aux paramètres et modes d'opération voulus du système.

25 Le nombre m d'étages de stockage interne d'énergie 10 peut être nul lorsque deux étages à convertisseur 16 ou plus sont utilisés et qu'ils incluent un module de batterie de puissance 14 et optionnellement un chargeur 12 relié ou non à une source d'alimentation 20 (ou 2).

30 Le système de recharge rapide multi-niveaux selon l'invention présente une solution au problème de la taille d'un convertisseur en utilisant une batterie de puissance intermédiaire formée d'au moins un module de batterie 14 comme

- 9 -

point d'appui de tension de sorte qu'un convertisseur 18 possédant une fraction de la tension de sortie puisse commander la totalité du transit de puissance 22 vers (ou de) la batterie e.g. d'un véhicule électrique ou autre dispositif électrique de puissance 4.

5

En référence à la Figure 1, il est montré une situation classique où un convertisseur 24 doit être dimensionné pour la pleine puissance 22 qui doit être transitée entre un réseau d'alimentation 2 et une batterie 4 e.g. d'un véhicule électrique. Cela nécessite une taille particulièrement élevée de convertisseur.

10

En référence à nouveau à la Figure 2, un petit chargeur 12 permet une recharge lente d'un module de batterie 14. Le problème du facteur d'utilisation se trouve ainsi résolu. Comme la batterie de puissance intermédiaire 14 peut atteindre plusieurs centaines de volts, plusieurs étages formés de modules de batterie de puissance 14 sont de préférence utilisés tel qu'illustré à la Figure 3. Il est donc possible de considérer le scindement du chargeur 12 en une pluralité de chargeurs 12 plus petits associés aux modules de batterie 14 respectifs des étages comme illustré à la Figure 3. Ce scindement permet de résoudre en bonne partie le problème de la gestion de l'équilibre de charge des modules de batterie 14 puisque les chargeurs 12 peuvent être commandés de façon à varier séparément la contribution de chaque étage.

Le coût des modules de batterie 14 est susceptible d'être en bonne partie absorbé par les économies de facturation sur la puissance souscrite et, dans bien des cas, par les économies sur la taille du ou des convertisseurs de puissance 18 impliqués dans le transfert d'énergie avec le dispositif électrique de puissance 4.

De plus, comme une pluralité d'éléments en série est utilisée, il est possible de profiter de ce fait pour implanter une stratégie de PWM ("Pulse Width Modulation") multi-niveaux au niveau des chargeurs 12. En effet, comme les modules de batterie de puissance 14 possèdent une très faible impédance et

30

- 10 -

une tension pratiquement constante pour des niveaux de charge allant typiquement mais non limitativement de 5 à 95%, elles sont assimilables à des sources de tension idéales, simplifiant ainsi la topologie et la commande du système multi-niveaux obtenu. On peut ainsi avantageusement augmenter la
5 qualité de l'onde du côté réseau 2.

La capacité du système multi-niveaux selon l'invention de générer des formes d'onde SPWM ("Sinusoidal Pulse Width Modulation") présentées au réseau 2 permet ainsi de fournir des services d'assistance au réseau 2 comme
10 mentionnés précédemment.

Des réalisations du système de recharge rapide multi-niveaux dans lesquelles le ou les chargeurs lents 12 ou les étages 10, 16 peuvent ne pas être raccordés à un réseau 2, comme illustrées dans les Figures 16, 17 et 18, peuvent servir à
15 récupérer et à restituer une énergie de freinage lorsqu'un train DC ou un métro entre en station. Le ou les chargeurs 12 peuvent ainsi ne servir qu'à l'équilibrage de la charge des étages 10, 16. Le freinage régénératif fonctionne indépendamment du fait que le ou les chargeurs 12 soient reliés au réseau 2. Dans ce genre de réalisations, le dispositif électrique de puissance 4 peut être
20 formé par une charge à tension contre-électromotrice relativement fixe et à faible impédance par opposition à une charge résistive. On dira ici une charge de type tension ou simplement une charge de tension. Ce peut être des rails reliés à un réseau d'alimentation DC d'un métro ou une caténaire de train.

25 L'invention s'appuie sur le fait que le dispositif électrique de puissance 4 (e.g. une batterie d'un véhicule électrique) et le ou les modules de batterie 14 possèdent une tension à vide élevée par rapport aux chutes de tensions dues aux impédances internes. Le convertisseur 18 peut, avec une petite tension, provoquer une circulation de courants élevés en autant qu'il puisse compenser
30 des écarts de tension entre le dispositif électrique de puissance 4 et le ou les modules de batterie 14 plus les chutes de tensions de leurs impédances internes. Le courant, et par conséquent la puissance, peut être commandé dans

- 11 -

les 2 sens avec un convertisseur de puissance 18 ayant une configuration pour opérer dans deux quadrants et pouvant porter la totalité du courant.

Une inductance 28 connectée entre la borne de connexion 6 et le convertisseur de puissance 18 de l'étage à convertisseur 16 permet de lisser le courant et surtout d'éviter des impulsions de courant en absorbant des différences instantanées de tension dans le cas avantageux où le convertisseur de puissance 18 est constitué d'un demi-pont de type source tension (VSC ou "Voltage Source Converter").

10

La source d'alimentation électrique 20 peut provenir du réseau électrique 2, mais aussi d'un module de batterie intermédiaire 14 supplémentaire qui peut être couplé, lui aussi, à un chargeur lent 12 se couplant au réseau électrique 2 tel qu'illustré à la Figure 3.

15

Le (ou les) chargeur 12 peut aussi bien être unidirectionnel que bidirectionnel. Dans le second cas, il peut contribuer activement à supporter le réseau électrique 2 par exemple pendant une pointe. Si unidirectionnel, l'assistance au réseau électrique 2 demeure possible à un certain point, par exemple en limitant la consommation aux heures de pointe.

20

Selon la configuration du système de recharge rapide multi-niveaux, le (ou les) chargeur 12 comporte un étage d'isolation tel un transformateur 31 (comme illustré par exemple à la Figure 16) pour assurer un référencement approprié des tensions de chaque étage 10 (et 16 le cas échéant). D'autres configurations décrites plus loin peuvent se passer d'une telle isolation, ce qui constitue une réduction du nombre de composants, des coûts et aussi des pertes.

25

En référence à la Figure 3, il est montré comment plusieurs des étages 10, 16 peuvent être mis en série. Les modules de batterie 14 des étages de stockage interne 10 sont connectés en série avec les convertisseurs de puissance 18 des étages de conversion 16. Dans la réalisation illustrée, les alimentations des

30

- 12 -

étages 16 sont elles-mêmes constituées de modules de batterie 14 et de chargeurs lents 12. Ainsi, tous les étages 10, 16 comportent un chargeur 12. Si les chargeurs 12 sont bidirectionnels, l'équilibrage de la charge des étages 10,, 16 peut aussi être bonifié car un module de batterie 14 dont un niveau de charge est plus élevé peut maintenant donner un peu d'énergie aux autres étages 10, 16. Dans le cas unidirectionnel, il est tout de même possible de moduler séparément la puissance de charge des chargeurs 12, par exemple par l'entremise de l'unité de contrôle 38 (tel qu'illustré à la Figure 11) configuré pour avoir un mode d'opération en conséquence.

10

En référence à la Figure 4, il est montré une réalisation où une utilisation de modules de contacteurs 32, 34 permet de se passer de transformateurs d'isolation dans les chargeurs 12. Les chargeurs 12 comportent uniquement une partie VSC. Dans cette réalisation, la recharge lente des modules de batterie 14 n'a pas lieu en même temps que des échanges avec la batterie de puissance formant le dispositif électrique de puissance 4. Il s'agit d'un inconvénient mineur étant donné que la recharge rapide de la batterie de puissance 4 ne prend que quelques minutes par rapport aux heures requises (imposées par le réseau 2) pour charger les modules de batterie 14. Pour la recharge lente des modules de batterie 14, les modules de contacteurs 32 sont fermés et les modules de contacteurs 34, 36 sont ouverts. Pour la recharge rapide de la batterie de puissance 4, c'est l'inverse. Par sécurité, un "interlock" préférentiellement mécanique empêche la fermeture simultanée des modules de contacteurs 32 avec les modules de contacteurs 34, 36.

25

Ce mécanisme de modules de contacteurs 32, 34, 36 avec "interlock" permet de raccorder en série tant les convertisseurs 18 et modules de batterie 14 (via les modules de contacteurs 36) des étages du côté charge rapide (vers la batterie cible 4) que les chargeurs 12 des étages du côté réseau 2 puisque le problème de référencement multiple de tensions est éliminé. Plusieurs avantages en découlent.

30

- 13 -

Des tensions élevées tant du côté réseau 2 que du côté véhicule (ou autre dispositif) peuvent être obtenues facilement, car il n'y a plus de transformateur d'isolation qui doive porter un cumul des tensions d'étage.

- 5 Les convertisseurs formés par les chargeurs 12 et les convertisseurs 18 se réduisent à leur plus simple expression, soit respectivement un pont de VSC tel qu'illustré à la Figure 10 et un demi-pont de VSC tel qu'illustré à la Figure 9A, sans transformateur ni inductance autre que les inductances 28 et 40 qu'ils partagent collectivement. Les pertes par transformation s'en trouvent éliminées.
- 10 Les convertisseurs 18 peuvent être optionnellement munis de modules de contacteurs 42 comme montré à la Figure 9A pour les contourner lorsqu'ils ne sont pas requis et ainsi réduire les pertes. Des modules de contacteurs 48 comme montré à la Figure 9B peuvent remplacer les modules de contacteurs 36 comme illustré à la Figure 5, permettant non seulement une isolation
- 15 pendant l'opération des chargeurs 12 mais en plus un contournement d'un étage 10 pendant un transfert avec la batterie de puissance 4.

Comme chaque étage 10, 16 se voit garantir sa tension individuelle par son module de batterie 14 associé, les semi-conducteurs 44A, 44B, 44C, 44D, 44E, 20 44F (tel que montrés dans les Figures 9A et 10) utilisés dans les convertisseurs 12 et 18 peuvent être de type basse tension. En particulier, si des MOSFETs sont utilisés, il devient possible d'en choisir à très basse résistance drain-source réduisant drastiquement les pertes. En plus, les MOSFETs sont munis d'une diode antiparallèle 46 intrinsèque qui évite d'en rajouter une externe. L'efficacité 25 peut être augmentée encore plus en opérant les MOSFETs en redresseurs synchrones, i.e. que chaque MOSFET est maintenu à "ON" pendant la majorité du temps que le courant circule en inverse, afin de s'affranchir de la chute de tension de jonction de la diode antiparallèle 46.

- 30 Un autre avantage de la mise en série vient du fait que le côté réseau 2 bénéficie d'une multitude de niveaux de tension maintenant disponible pour du SPWM multi-niveaux. Les pertes de commutation sont réduites puisqu'une

- 14 -

fréquence de modulation plus faible peut être utilisée. Cela permet aussi de réduire la taille de l'inductance 40 dans le cas où elle serait requise, avec ses coûts et ses pertes. L'inductance 40 peut être constituée de l'inductance équivalente du réseau 2.

5

Le SPWM permet des fonctions de support au réseau 2 et de travailler à facteur de puissance unitaire. Des niveaux de puissance apparente appréciables du ou vers le réseau 2 peuvent être manipulés à coût avantageux.

- 10 En référence à la Figure 5, il est montré une réalisation préférentielle où des modules de contacteurs 48 (montrés aussi à la Figure 9B) permettent de présélectionner une valeur de la tension fixe fournie par les étages de stockage interne d'énergie 10. En rapprochant la valeur de tension fixe le plus possible de celle de la batterie 4, le nombre requis d'étages 16 munis de convertisseurs
- 15 18 peut être réduit.

Pour réduire les coûts et augmenter la longévité des modules de contacteurs, les convertisseurs 18 et les chargeurs 12 configurés en VSC peuvent être utilisés pour réduire les courants à zéro avant toute manœuvre des modules de

20 contacteurs 32, 34, 36 (montré à la Figure 4), 42 (montré à la Figure 9A), 48 (montré à la Figure 9B) et 50 (montré à la Figure 8). De même, les convertisseurs 18 et les modules de contacteurs 48 peuvent être utilisés pour que la tension à vide du système de recharge rapide égale pratiquement celle de la batterie 4 avant toute fermeture des modules de contacteurs 34. Les

25 chargeurs 12 configurés en VSC dans les étages 10 et 16 peuvent être utilisés pour que la tension AC totale de ces chargeurs en série vaille approximativement la tension instantanée du réseau 2 avant toute fermeture des modules de contacteurs 32.

- 30 Pour gérer plus facilement une répartition de charge entre les modules de batterie de puissance 14, un nombre plus grand que nécessaire d'étages 16 munis de convertisseurs 18 peut être incorporé dans le système. La sélection

- 15 -

du nombre minimal de convertisseurs 18 requis à un instant donné peut être établie par les modules de contacteurs 42 tel que montré à la Figure 9A, selon qu'ils sont réglés en position de contournement ou non. Les convertisseurs 18 en position de contournement peuvent être isolés et shuntés par leurs modules 5 de contacteurs 42, réduisant les pertes par conduction.

En référence à la Figure 6, il est montré qu'avec un minimum de deux niveaux actifs (convertisseurs 18 non shuntés par un module de contacteur 42 tel que montré à la Figure 9A), une marge de tension rapidement ajustable est 10 préservée en tout temps. Dans la Figure 6, la courbe 52 représente la tension désirée, la courbe 54 représente la tension des étages fixes 10, et la courbe 56 représente la tension discrétisée maximale obtenue avec les niveaux actifs des étages 10 et 16. La plage entre les courbes 54 et 56 représente les valeurs de tension dynamiquement accessibles par PWM. Cette marge permet de garder 15 un contrôle du courant afin d'éviter un emballement. Néanmoins, pour parer à une telle éventualité, un recours à des dispositifs de protection classiques (non illustrés) par fusible ou disjoncteur est préconisé.

En référence aux Figures 7 et 8, il est montré des adaptations triphasées d'un 20 système tel que celui de la Figure 5. Ces adaptations permettent des niveaux de puissance plus importants mieux adaptés à des stations services pour véhicules électriques ou stations de recharge pour autobus électriques. Les Figures 7 et 8 illustrent respectivement des mises en série et en parallèles de groupes d'étages de sortie 10, 16. Dans le cas de groupes parallèles (Figure 8), 25 qui comprennent aussi des étages 10, 16 en série au sein d'un même groupe, moins de modules de contacteurs 32 sont requis. Un module de contacteur 50 (Figure 8) ou un cavalier 58 (Figure 7) peut être requis selon les régimes de mise à la terre en vigueur.

30 En référence à la Figure 11, les modules de batterie de puissance 14 peuvent être constitués de plusieurs cellules élémentaires 60 en série, combinées à un système d'équilibrage et de gestion. L'équilibrage fin entre cellules 60 d'un

- 16 -

même module de batterie 14 peut être essentiellement assuré par de petits convertisseurs "flyback" bidirectionnels 62 destinés à transférer sur une longue période une succession de petites charges des cellules 60 plus chargées vers les moins chargées. Il sera montré plus loin comment des puissances
5 d'équilibrage plus importantes entre les modules de batterie 14 peuvent être obtenues via les chargeurs-convertisseurs 12, les convertisseurs 18 et les modules de contacteurs 48 (montrés par exemple à la Figure 5).

- L'équilibrage fin peut se faire par intervention sur chacune des cellules en série.
- 10 Comme l'ensemble des modules de batterie 14 peut être constitué de centaines de cellules 60 au total, il est avantageux de réduire la quantité et la taille des éléments, lesquels ont un impact sur le coût. La technique des petits "flybacks" bidirectionnels 62 convient avantageusement à ce sujet.
- 15 Un transfert d'énergie peut s'effectuer via un bus 64 propre à chacun des modules de batterie 14. Le bus 64 peut être prolongé de façon à couvrir plusieurs modules de batterie 14 si voulu, bien que cela puisse être moins pratique par exemple pour les considérations d'isolation des transformateurs 30. Pour transférer un petit bloc d'énergie d'une cellule 60 vers le bus 64, il
20 suffit de faire conduire le MOSFET 66 correspondant à la cellule 60 pour bâtir un flux dans le noyau du transformateur 30 correspondant et de couper le courant avant d'atteindre la saturation. À la coupure, la diode intrinsèque 68 du MOSFET 72 correspondant se mettra à conduire et le flux retombera à zéro en rechargeant les condensateurs 70 du bus commun 64. Un transfert en sens
25 inverse est aussi possible en intervertissant le rôle des MOSFETs 66 et 72. Donc, une impulsion sur la grille d'un MOSFET 66 transfère un bloc d'énergie vers le bus 64 alors qu'une impulsion sur la grille d'un MOSFET 72 transfère un bloc d'énergie vers la cellule 60 correspondante. Préférentiellement, les MOSFETS 66, 72 sont aussi activés lors des périodes correspondant à la
30 conduction de leur diode intrinsèque 68 respective afin de réduire les pertes (rectification synchrone).

- 17 -

Les condensateurs 70, 74 sont localisés près des "flybacks" 62 pour minimiser les boucles de commutation. Les condensateurs 76, les diodes 78 et les résistances 80 servent à adapter les niveaux d'impulsion pour satisfaire les références de tension qui diffèrent d'un étage à l'autre. Le bus 64, quant à lui, est référé à un contrôleur de module 82 via la "masse" 84, laquelle diffère d'un module de batteries 14 à l'autre.

Le contrôleur 82 peut gérer les impulsions de grille de façon à maintenir la tension sur le bus 64 et, ce faisant, à s'assurer que la somme des transferts nets soit nulle. Le contrôleur 82 peut s'occuper aussi de la collecte des tensions de cellule, du courant du module grâce à un capteur 86, et possiblement des températures. Le contrôleur 82 est de préférence en constante relation avec le contrôleur principal 38 du système et se partage les tâches avec celui-ci. Outre l'équilibrage, les deux contrôleurs 82, 38 s'occupent de la protection des modules de batterie 14 notamment en surveillant les excursions anormales de tension de cellules et de température. Le contrôleur principal 38 peut aussi gérer l'opération des modules de contacteurs 32, 34, 50 (montrés aux Figures 7 et 8), 42 (montré à la Figure 9A), et 48 (montré à la Figure 9B).

Comme le courant d'équilibrage fin n'est pas comptabilisé par le capteur 86, il peut être estimé par les tensions des cellules 60, la tension du bus 64 et la largeur et le nombre des impulsions conjointement avec la valeur connue d'inductance des transformateurs 30.

Comme les petits "flybacks" 62 limitent la puissance d'équilibrage intramodule pour les raisons de simplicité et de coût mentionnées ci-haut, il importe de s'assurer que les cellules 60 à l'intérieur d'un même module 14 soient homogènes (même lot et même historique de vieillissement) et que les conditions qu'elles subissent soient les mêmes.

30

Si la taille du système requiert un grand nombre de cellules 60 en parallèle, il est préférable de considérer une mise en parallèle de colonnes complètes

- 18 -

d'une façon similaire à la Figure 8. En effet, la mise en parallèle étage par étage requerrait un moyen de commander séparément en un grand nombre de points le courant, lequel atteint des valeurs élevées par surcroît.

- 5 En référence à la Figure 12, il est montré un exemple de contexte d'utilisation comprenant des points de mesure fournis par un capteur de tension 88 produisant un signal de tension mesurée $V_{mes}(t)$ et un capteur de courant 90 produisant un signal de courant mesuré $i_{mes}(t)$ tel que requis pour régulariser le courant pendant la recharge des modules de batterie intermédiaires 14 ou pour
- 10 l'assistance au réseau 2. L'inductance 92 représente l'inductance équivalente du réseau 2, alors que l'inductance 40 représente ici l'inductance faisant partie du système.

En référence à la Figure 13, il est montré un système de contrôle capable de

15 gérer les convertisseurs 12 (montrés par exemple à la Figure 12) afin de suivre une consigne de courant de réseau 2, laquelle satisfait une ou plusieurs fonctions telles que la recharge à facteur de puissance unitaire, la gestion de la pointe ou même le retour d'énergie vers le réseau 2. Le système de contrôle peut être intégré au contrôleur principal 38 (montré à la Figure 11) ou réalisé

20 autrement si voulu. Le système de contrôle comporte un contrôleur de haut niveau 94 qui détermine le courant approprié par exemple selon les techniques classiques de production distribuée. Un régulateur 96, possiblement de type proportionnel plus intégral, produit une cible de tension qui est discrétisée par un bloc 98 qui fournit une tension qui peut se traduire par un nombre de

25 tandems 12 et 14 (montrés par exemple à la Figure 12) nécessaires en série à chaque instant. Un bloc 100 relié individuellement aux ponts 12 (montrés par exemple à la Figure 12) comporte un algorithme de décision qui détermine lesquels des tandems 12 et 14 seront mis à contribution de façon à équilibrer les niveaux de charge entre les modules de batterie 14 (montrés par exemple à

30 la Figure 12) et à minimiser les commutations consécutives sur chacun des semi-conducteurs 44C, 44D, 44E, 44F (montrés à la Figure 10). Une stratégie de PWM multi-niveaux se trouve ainsi effectivement implémentée.

- 19 -

En référence à nouveau à la Figure 10, lorsqu'un module 12 est mis à contribution pour produire une tension positive, les MOSFETs 44C et 44F sont mis en conduction. Pour une tension négative, ce sont les MOSFETs 44D et 5 44E. Pour une tension nulle, il faut tout de même que le courant passe et deux possibilités se présentent: conduction des MOSFETs 44C et 44D ou conduction des MOSFETs 44E et 44F. De préférence, les deux possibilités sont utilisées aussi souvent l'une que l'autre afin de répartir la dissipation également entre les semi-conducteurs 44C, 44D, 44E, 44F. Dans tous les cas, des transitions de 10 type "break before make" servent à éviter de court-circuiter les modules de batterie 14. Des condensateurs de découplage (non illustrés) du côté DC à proximité d'un pont 12 permettent de réduire les boucles de commutation.

En référence à la Figure 14, il est montré un exemple de contrôleur de haut 15 niveau 94 destiné au cas particulier d'une charge à facteur de puissance unitaire. Un "phase locked loop" (PLL) 110 fournit l'angle instantané $\omega(t)$ du fondamental de tension relatif au signal $V_{mes}(t)$. Un bloc cosinus 112 reconstitue un signal de même phase, mais d'amplitude unitaire. Le signal obtenu est multiplié 114 par l'amplitude désirée du courant i_{pk} 116 pour fournir la cible de 20 courant instantané $i(t)^*$ qui sera acheminée au sommateur 118 (montré à la Figure 13).

Dans un autre cas où on désirerait plutôt inverser la puissance, il suffirait simplement d'inverser le signe de la sortie du multiplicateur 114 ou encore 25 d'ajouter 180 degrés à l'entrée du bloc 112.

En référence à nouveau à la Figure 12, dans un mode d'opération où les modules de batterie 14 échangent leur énergie avec celle du dispositif électrique de puissance 4 (comme la batterie de puissance tel que montré par 30 exemple à la Figure 2), le signal de courant mesuré $i_{mes}(t)$ provient d'un capteur de courant 91 connecté au convertisseur de puissance 18, et la boucle de commande du courant instantané $i(t)^*$ peut être constituée des blocs 118, 96,

- 20 -

98, 100 montrés à la Figure 13, si un grand nombre de modules 18 non contournés par des modules de contacteurs 42 (tel que montré à la Figure 9A) est utilisé. On obtient ici aussi un PWM multi-niveaux. Cependant, cela risque de détériorer le rendement puisque les courants sont très élevés (près d'un
5 ordre de grandeur au dessus de ceux impliqués lors de l'utilisation des modules 12 et qu'il est préférable de maintenir au minimum le nombre de semi-conducteurs parcourus par les forts courants en question.

Pour la régulation du courant instantané $i(t)^*$, il est alors préférable de travailler
10 avec deux modules 18 non contournés (actifs) procurant un ajustement fin du courant avec une stratégie PWM à deux ou trois niveaux classique. Cela n'empêche pas de changer les modules 18 actifs à toutes les minutes, par exemple, pour équilibrer le niveau de charge/décharge des modules de batterie
14.

15

Puisque, dans ce mode, la tension des modules de batterie 14 et celle du dispositif électrique de puissance 4 conservent le même signe, il est possible de maintenir l'ajustement du courant dans les deux directions avec un demi-pont 18 constitué des semi-conducteurs 44A et 44B (tel que montré à la Figure 9A).
20 Similairement à l'opération des modules 12, un module 18 présente une tension positive si le MOSFET 44A (ou sa diode intrinsèque 46) est en conduction et une tension nulle si le MOSFET 44B (ou sa diode intrinsèque 46) le devient. Encore ici, une séquence de commutation de type "break before make" est suivie et des condensateurs de découplage (non illustrés) sont disposés du
25 côté DC près des semi-conducteurs 44A et 44B.

Jusqu'à ce point, les stratégies décrites de régulation du courant instantané par PWM multi-niveaux ou non, tant des modules 12 que 18, faisaient abstraction du séquençement des modules de contacteurs 32, 34, 36 (tel que montrés à la
30 Figure 4), 42, 48 (montrés aux Figures 9A et 9B) et 50 (montré à la Figure 8). Leur opération est décrite dans les lignes qui suivent, avec une batterie de puissance (e.g. d'un véhicule électrique) comme exemple de dispositif

- 21 -

électrique de puissance 4. L'action du PWM est rapide et continue de nature alors que les modules de contacteurs 32, 34, 36, 42, 48, 50 ne sont utilisés que quelques fois durant un cycle de transfert d'énergie avec la batterie de puissance 4. Ils sont aussi utilisés pour changer de mode d'opération (côté 5 réseau 2 actif vs côté batterie 4 actif).

En mode d'échange avec le réseau 2, les étapes suivantes peuvent être réalisées:

1. Initialement, les modules de contacteurs 32, 34, 50 (si applicable), 42 et 48
10 sont ouverts.
2. Mettre à contribution le nombre approprié de modules convertisseurs 12 pour approximer la tension à vide du réseau 2 qui prévaudra à l'instant estimé de fermeture des modules de contacteurs 32 et 50.
3. Fermer les modules de contacteurs 32 et 50.
- 15 4. Laisser agir les contrôleur 94 et régulateur 96 pour obtenir le courant approprié. Pour un équilibrage du niveau de charge plus agressif, il est possible de remplacer deux étages 12 nuls par un de tension positive et un de tension négative. L'effet sur le réseau 2 sera imperceptible, mais un échange effectif d'énergie entre des modules de batterie 14 se produira. De
20 plus, si vers la fin de la recharge seulement quelques modules de batterie 14 requièrent de poursuivre alors que les autres sont pleins, il est possible d'utiliser cette même technique en alternant le rôle de chaque module 14 de façon à ce que le transfert net à moyen terme soit nul pour les modules 14 pleins et positif pour les quelques autres qui restent.
- 25 5. Lorsque la charge de tous les modules 14 est complète, réduire graduellement à zéro le courant spécifié par la consigne 116.
6. Ouvrir les modules de contacteurs 32 et 50.

En mode d'échange avec la batterie 4, les étapes suivantes peuvent être
30 réalisées:

1. Initialement, les modules de contacteurs 32, 34, 50 (si applicable), 42 et 48 sont ouverts.

- 22 -

2. Le véhicule (ou autre dispositif électrique) contenant la batterie 4 et le système négocient un profil temporel de courant de charge en fonction, entre autres
 - du besoin d'énergie de la batterie 4,
- 5
 - de la capacité restante des modules 14,
 - de la technologie de batterie utilisée,
 - de la période de relaxation finale destinée à équilibrer les cellules de la batterie 4 ou même celle des modules 14.
3. La tension de la batterie 4 est mesurée.
- 10 4. Un scénario est établi par le contrôleur principal 38 qui subdivise la période de charge à venir en quelques segments de quelques minutes (ou moins) de façon à
 - répartir l'énergie à prélever entre les modules 14 selon leur état de charge ("state of charge" ou SOC) individuel,
- 15
 - minimiser le nombre de manœuvres des modules de contacteurs,
 - laisser un minimum de deux modules 18 actifs (PWM).
5. Les modules de contacteurs 42 et 48 sont configurés conformément au premier segment du scénario. Si un étage est requis en PWM, le module de contacteur 42 sera ouvert. Sinon il occupera une des deux autres positions.
- 20 Les modules de contacteurs 48 des étages non PWM devront occuper une des deux positions extrêmes (la position centrale ne peut pas être utilisée, car le courant doit passer) selon que le module 14 correspondant doit être mis à contribution ou non. Le total des tensions de modules 14 contributifs doit approximer la tension mesurée à l'étape 3.
- 25 6. Les modules de contacteurs 34 sont fermés.
7. Les étages PWM participent en continu à la régulation du courant selon le profil négocié à l'étape 2.
8. Si la tension des deux étages PWM actifs requise pour réguler le courant s'approche de plus d'une demi-tension de module de la limite qui lui ferait
- 30 perdre le contrôle, une reconfiguration est initiée: le courant est réduit à zéro par les 2 étages PWM, puis une nouvelle configuration des modules de contacteurs 42 et 48 est effectuée de façon à recentrer la plage de tension

- 23 -

ajustable autour de la nouvelle valeur requise (Figure 6); finalement, le courant est reporté à sa valeur désirée par l'action des étages PWM.

9. Similairement, lorsque la fin d'un segment du scénario est atteinte, le courant est ramené à zéro, les modules de contacteurs 42 et 48 sont reconfigurés puis le courant est reporté à sa valeur désirée amorçant ainsi le segment suivant.
10. À la fin du dernier segment, le courant est réduit à zéro, puis tous les modules de contacteurs 32, 34, 50 (si applicable), 42 et 48 sont ouverts. Alternativement, on peut interrompre prématurément le dernier segment, puis réévaluer la finale en fonction du niveau de charge effectif restant dans chaque module 14 et en fonction des besoins de la batterie 4.

Dans les cas où les impédances de batteries seraient élevées ou encore dans ceux où la tension des modules 14 seraient faibles, il se peut que plus de deux étages 18 actifs soient requis en tout temps. La marche à suivre demeure néanmoins similaire.

On peut imaginer une situation où il est requis de transférer un bloc d'énergie de la batterie 4 vers les modules de batterie 14 (par exemple pour utiliser l'énergie d'un véhicule lors d'une panne de réseau). La marche à suivre serait la même sauf pour le courant qui serait de signe contraire. Évidemment, les modules 14 doivent être initialement suffisamment déchargés pour accepter le bloc d'énergie.

En référence à la Figure 15, il est montré une réalisation applicable, par exemple, pour une station-service et qui permet de contourner la contrainte de l'opération séquentielle des topologies des Figures 4, 5, 7 et 8: puisqu'une quantité de stockage local importante est requise, il est avantageux de la segmenter en plusieurs chargeurs 120 (comme montré à la Figure 12, leurs modules de contacteurs 32 et 34 étant montrés à l'extérieur pour illustrer le principe). Chaque pistolet de rechargement 122 a la possibilité d'être relié à un parmi plusieurs chargeurs 120 grâce à une pluralité de modules de contacteurs

- 24 -

34. Ainsi, un seul parmi un groupe peut servir à faire le plein alors que les autres continuent la recharge de leur réserve locale 14 par le réseau 2. D'une fois à l'autre, un chargeur 120 différent peut automatiquement être utilisé, répartissant ainsi la charge entre eux. Pour un réseau 2 triphasé, la sélection
5 peut aussi tenir compte du balancement approximatif des courants.

En référence aux Figures 16, 17 et 18, il est montré des réalisations du système de recharge pouvant particulièrement convenir à une application où le dispositif électrique de puissance 4 est constitué de rails de métro ou une caténaire de
10 train. Pour des fins de simplification uniquement, il sera fait référence dans la description qui suit à des rails de métro. Il doit cependant être compris que les réalisations du système ne sont pas limitées à cet exemple.

En référence en particulier à la Figure 16, il est montré une réalisation du
15 système de recharge multi-niveaux assimilable à celle de la Figure 3 où les chargeurs 12 peuvent être de faible puissance, mais plus complexes (pas de simples VSC) en raison des étages d'isolation 31 utilisés du fait que les chargeurs 12 sont reliés ensemble par un bus parallèle 124. Une boucle série 126 (comme illustré à la Figure 17) peut remplacer le bus parallèle si la
20 topologie des chargeurs 12 le permet. Le système de la Figure 16 peut demeurer connecté en permanence avec les rails 4 si voulu.

En référence à la Figure 17, il est montré une réalisation du système de recharge multi-niveaux assimilable à celle de la Figure 5, mais sans le réseau
25 2. Les chargeurs 12 peuvent être formés de VSC à deux quadrants à faible courant. Les convertisseurs 18 peuvent être formés de VSC à fort courant. En pareil cas, la boucle série 126 les reliant comporte un arrangement série formé d'une inductance 40 et d'un module de contacteur 32. Un arrangement série formé d'une inductance 28 et d'un module de contacteur 34 est connecté entre
30 la borne de connexion 6 et un des étages à convertisseur 16. Dans cette réalisation, l'équilibrage des modules de batterie 14 via les chargeurs 12 ne peut pas se produire simultanément avec l'arrivée (recharge des modules de

- 25 -

batterie 14) ou le départ (restitution d'énergie stockée dans les modules de batterie 14) d'un métro. L'équilibrage précité concerne des échanges entre des modules de batterie de puissance 14 entiers. Un équilibrage très lent entre les cellules 60 (montrées à la Figure 11) d'un même module de batterie 14
5 demeure. Une extension du bus 64 (montré à la Figure 11) à d'autres modules de batterie de puissance 14 permet d'échanger de petites puissances entre les modules de batterie de puissance 14.

En référence à la Figure 18, il est montré une réalisation du système de
10 recharge multi-niveaux qui représente un cas particulier de celle de la Figure 17, où les chargeurs 12 et la boucle 126 incluant l'inductance 40 et le module de contacteur 32 sont omis. L'équilibrage distinct des étages de stockage interne d'énergie 10 implique quelques manœuvres supplémentaires des modules de contacteurs 48 si $m > 0$ (m représentant le nombre d'étages de
15 stockage interne d'énergie 10). Si $m = 0$ (et donc $n \geq 2$), l'équilibrage complet peut se faire en continu, même pendant les démarrages ou arrêts de métros, sans avoir à manœuvrer de modules de contacteurs (ou commutateurs).

Bien que des réalisations de l'invention aient été illustrées dans les dessins ci-
20 joints et décrites ci-dessus, il apparaîtra évident pour les personnes versées dans l'art que des modifications peuvent être apportées à ces réalisations sans s'écarter de l'invention. Par exemple, les modules de contacteurs 32, 34, 36, 42, 48, 50 peuvent être réalisés par des commutateurs à semi-conducteurs ou autres types de commutateurs appropriés si voulu. Lorsque $n \geq 2$ et $n + m \geq 4$,
25 et en particulier lorsque les niveaux de tension ou de puissance requis nécessitent un grand nombre d'étages 10, 16, ceux-ci peuvent être distribués de manière à former des groupes (ou des colonnes de groupes) connectés en parallèle ou en série (comme dans les Figures 7 et 8) connectés entre des arrangements comprenant des inductances 28, 40 et des commutateurs ou
30 modules de contacteurs 32, 34 sélectivement opérables pour sélectionner les groupes d'étages 10, 16 en condition d'échanger de l'énergie avec le dispositif électrique de puissance 4.

REVENDICATIONS:

1. Système de recharge rapide multi-niveaux pour échanger de l'énergie avec un dispositif électrique de puissance qui impose une tension
5 prédéterminée, le système de recharge rapide comprenant:
 - des bornes de connexion avec le dispositif électrique de puissance;
 - un nombre n d'étages à convertisseur et un nombre m d'étages de stockage interne d'énergie connectés en série les uns aux autres entre les bornes de connexion, avec $n \geq 1$, $m \geq 0$ et $n+m \geq 2$, chaque étage à
10 convertisseur ayant un convertisseur de puissance couplé, d'un côté du convertisseur de puissance opposé à un côté des bornes de connexion, à un arrangement comprenant au moins un d'un module de batterie de puissance intermédiaire et une connexion à une source d'alimentation électrique, chaque étage de stockage interne d'énergie ayant un module de batterie de puissance
15 intermédiaire, chaque module de batterie de puissance intermédiaire étant caractérisé par une tension à vide élevée par rapport à des chutes de tension dues à des impédances internes du module de batterie de puissance intermédiaire, le module de batterie de puissance intermédiaire de chaque étage de stockage interne d'énergie et le convertisseur de puissance de chaque
20 étage à convertisseur étant connectés ensemble de manière à être en condition d'échanger de l'énergie avec le dispositif électrique de puissance;
 - une unité de contrôle contrôlant une contribution de chaque étage à convertisseur et, le cas échéant, de chaque étage de stockage interne d'énergie pour échanger de l'énergie avec le dispositif électrique de puissance;
 - 25 et
 - une inductance connectée entre une des bornes de connexion et un des étages à convertisseur.
2. Le système de recharge rapide selon la revendication 1, dans lequel:
30 $m = 0$; et
- l'arrangement de chaque étage à convertisseur comprend le module de batterie de puissance intermédiaire correspondant,

le système de recharge rapide comprenant de plus:

un arrangement série formé de l'inductance et d'un commutateur connecté entre une des bornes de connexion et un des étages.

5 3. Le système de recharge rapide selon la revendication 1, dans lequel:

$m \geq 1$;

l'arrangement de chaque étage à convertisseur comprend le module de batterie de puissance intermédiaire correspondant; et

10 au moins un des étages de stockage interne d'énergie a de plus un module contacteur opérationnellement couplé au module de batterie de puissance intermédiaire correspondant pour sélectivement contourner, mettre en circuit et mettre hors circuit le module de batterie de puissance intermédiaire correspondant,

le système de recharge rapide comprenant de plus:

15 un arrangement série formé de l'inductance et d'un commutateur connecté entre une des bornes de connexion et un des étages.

4. Le système de recharge rapide selon la revendication 2, dans lequel:

20 l'arrangement de plusieurs des étages à convertisseur comprend de plus un chargeur couplé au module de batterie de puissance intermédiaire correspondant,

le système de recharge rapide comprenant de plus:

une boucle série connectant les chargeurs en série, la boucle série ayant un arrangement série formé d'une inductance et d'un commutateur.

25

5. Le système de recharge rapide selon la revendication 1, dans lequel:

$m \geq 1$;

l'arrangement de chaque étage à convertisseur comprend le module de batterie de puissance intermédiaire correspondant, et pour au moins un des
30 étages à convertisseur, un chargeur couplé au module de batterie de puissance intermédiaire correspondant; et

au moins un des étages de stockage interne d'énergie a de plus un module contacteur opérationnellement couplé au module de batterie de puissance intermédiaire correspondant pour sélectivement contourner, mettre en circuit et mettre hors circuit le module de batterie de puissance intermédiaire correspondant, et un chargeur couplé au module de batterie de puissance intermédiaire correspondant;

le système de recharge rapide comprenant de plus:

une boucle série connectant les chargeurs en série, la boucle série ayant un arrangement série formé d'une inductance et d'un commutateur; et

10 un arrangement série formé d'une inductance et d'un commutateur connecté entre une des bornes de connexion et un des étages.

6. Le système de recharge rapide selon la revendication 1, dans lequel:
 $m = 0$; et

15 l'arrangement de chaque étage à convertisseur comprend le module de batterie de puissance intermédiaire correspondant, et pour plusieurs des étages à convertisseur, un chargeur couplé au module de batterie de puissance intermédiaire correspondant,

le système de recharge rapide comprenant de plus:

20 un bus parallèle reliant les chargeurs ensemble.

7. Le système de recharge rapide selon la revendication 1, dans lequel:
 $m \geq 1$;

25 l'arrangement de chaque étage à convertisseur comprend le module de batterie de puissance intermédiaire correspondant, et pour au moins un des étages à convertisseur, un chargeur couplé au module de batterie de puissance intermédiaire correspondant; et

30 au moins un des étages de stockage interne d'énergie a de plus un chargeur couplé au module de batterie de puissance intermédiaire correspondant,

le système de recharge rapide comprenant de plus:

un bus parallèle reliant les chargeurs ensemble.

8. Le système de recharge rapide selon la revendication 1, dans lequel:
m $\geq$ 1;
l'arrangement d'au moins un des étages à convertisseur comprend la
5 connexion à la source d'alimentation électrique; et
au moins un des étages de stockage interne d'énergie a de plus un
chargeur couplé au module de batterie de puissance intermédiaire
correspondant, le chargeur se connectant à la source d'alimentation électrique.
- 10 9. Le système de recharge rapide selon la revendication 1, dans lequel:
le convertisseur de puissance de chaque étage à convertisseur
comprend un convertisseur à source de tension.
10. Le système de recharge rapide selon la revendication 8, dans lequel:
15 l'arrangement d'au moins un des étages à convertisseur comprend le
module de batterie de puissance intermédiaire correspondant et la connexion à
la source d'alimentation électrique, en plus d'un chargeur couplé entre le
module de batterie de puissance intermédiaire correspondant et la connexion à
la source d'alimentation électrique.
- 20 11. Le système de recharge rapide selon la revendication 10, comprenant de
plus:
une boucle série formée d'un arrangement série comprenant au moins
un commutateur et une inductance se couplant à la connexion à la source
25 d'alimentation électrique et connectant les chargeurs en série;
une boucle série formée d'un arrangement série comprenant au moins
un commutateur et une inductance se couplant aux bornes de connexion et
connectant en série le convertisseur de puissance de chaque étage à
convertisseur et le module de batterie de puissance intermédiaire de chaque
30 étage de stockage interne d'énergie; et

lorsque $m \geq 2$, entre au moins deux des étages de stockage interne d'énergie qui se suivent, un commutateur connecté entre les modules de batterie de puissance intermédiaire correspondant.

- 5 12. Le système de recharge rapide selon la revendication 10, dans lequel:
au moins un des étages de stockage interne d'énergie a de plus un module contacteur opérationnellement couplé au module de batterie de puissance intermédiaire correspondant pour sélectivement contourner, mettre en circuit et mettre hors circuit le module de batterie de puissance intermédiaire
10 correspondant,
le système de recharge rapide comprenant de plus:
une boucle série formée d'un arrangement série comprenant au moins un commutateur et une inductance se couplant à la connexion à la source d'alimentation électrique et connectant les chargeurs en série; et
15 une boucle série formée d'un arrangement série comprenant au moins un commutateur et une inductance se couplant aux bornes de connexion et connectant en série le convertisseur de puissance de chaque étage à convertisseur et le module de batterie de puissance intermédiaire de chaque étage de stockage interne d'énergie via le module contacteur correspondant le
20 cas échéant.

13. Le système de recharge rapide selon la revendication 8, dans lequel:
plusieurs des étages de stockage interne d'énergie comprennent des chargeurs couplés aux modules de batterie de puissance intermédiaires
25 correspondant; et
l'unité de contrôle a un mode d'opération modulant séparément une puissance de charge de chaque chargeur des étages de stockage interne d'énergie.

- 30 14. Le système de recharge rapide selon la revendication 8, dans lequel:
la source d'alimentation électrique provient d'un réseau électrique;
 $m \geq 2$; et

l'unité de contrôle a un mode d'opération gérant chaque chargeur des étages de stockage interne d'énergie de manière à suivre une consigne de courant du réseau électrique.

5 15. Le système de recharge rapide selon la revendication 14, dans lequel l'unité de contrôle comprend un contrôleur déterminant un courant à transiter, un régulateur de courant produisant une cible de tension basée sur le courant à transiter, un module de discrétisation de la cible de tension, et un module de sélection d'étages de stockage interne d'énergie à mettre en contribution pour
10 transférer de l'énergie entre le réseau électrique et les batteries de puissance intermédiaires selon une discrétisation de la cible de tension fournie par le module de discrétisation.

16. Le système de recharge rapide selon la revendication 8, dans lequel le
15 dispositif électrique de puissance comporte une batterie de puissance se connectant aux bornes de connexion et caractérisée par une tension à vide élevée par rapport à des chutes de tension dues à des impédances internes de la batterie de puissance.

20 17. Le système de recharge rapide selon la revendication 1, dans lequel:
au moins un des étages à convertisseur comprend un module contacteur opérationnellement connecté pour sélectivement contourner, mettre en circuit et mettre hors circuit le convertisseur de puissance correspondant.

25 18. Le système de recharge rapide selon la revendication 1, dans lequel:
 $n \geq 2$;
 $n + m \geq 4$; et
les étages à convertisseur et les étages de stockage interne d'énergie le
cas échéant sont distribuées de manière à former des groupes connectés en
30 parallèle ou en série et opérationnellement connectés entre des arrangements comprenant des inductances et des commutateurs sélectivement opérables

pour sélectionner les groupes d'étages en condition d'échanger de l'énergie avec le dispositif électrique de puissance.

19. Le système de recharge rapide selon la revendication 1, dans lequel
5 chaque module de batterie de puissance intermédiaire comprend un arrangement de cellules élémentaires couplées à des convertisseurs Flyback reliés à un bus commun, les convertisseurs Flyback étant opérés par un contrôleur de manière à maintenir une tension sur le bus commun et effectuer un équilibrage entre les cellules élémentaires par transfert d'énergie avec le bus
10 commun.

1/9

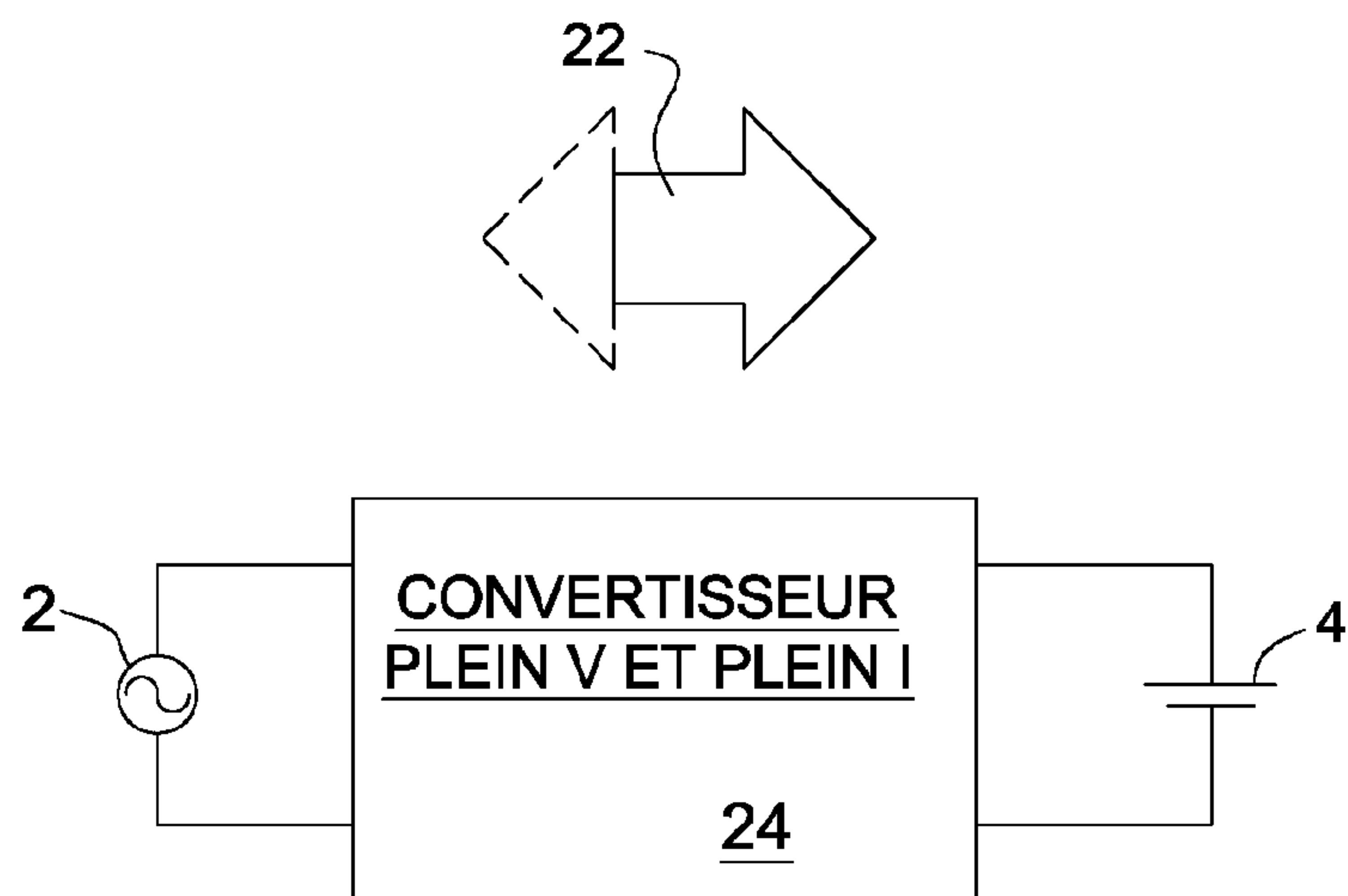


FIG. 1
(ART ANTÉRIEUR)

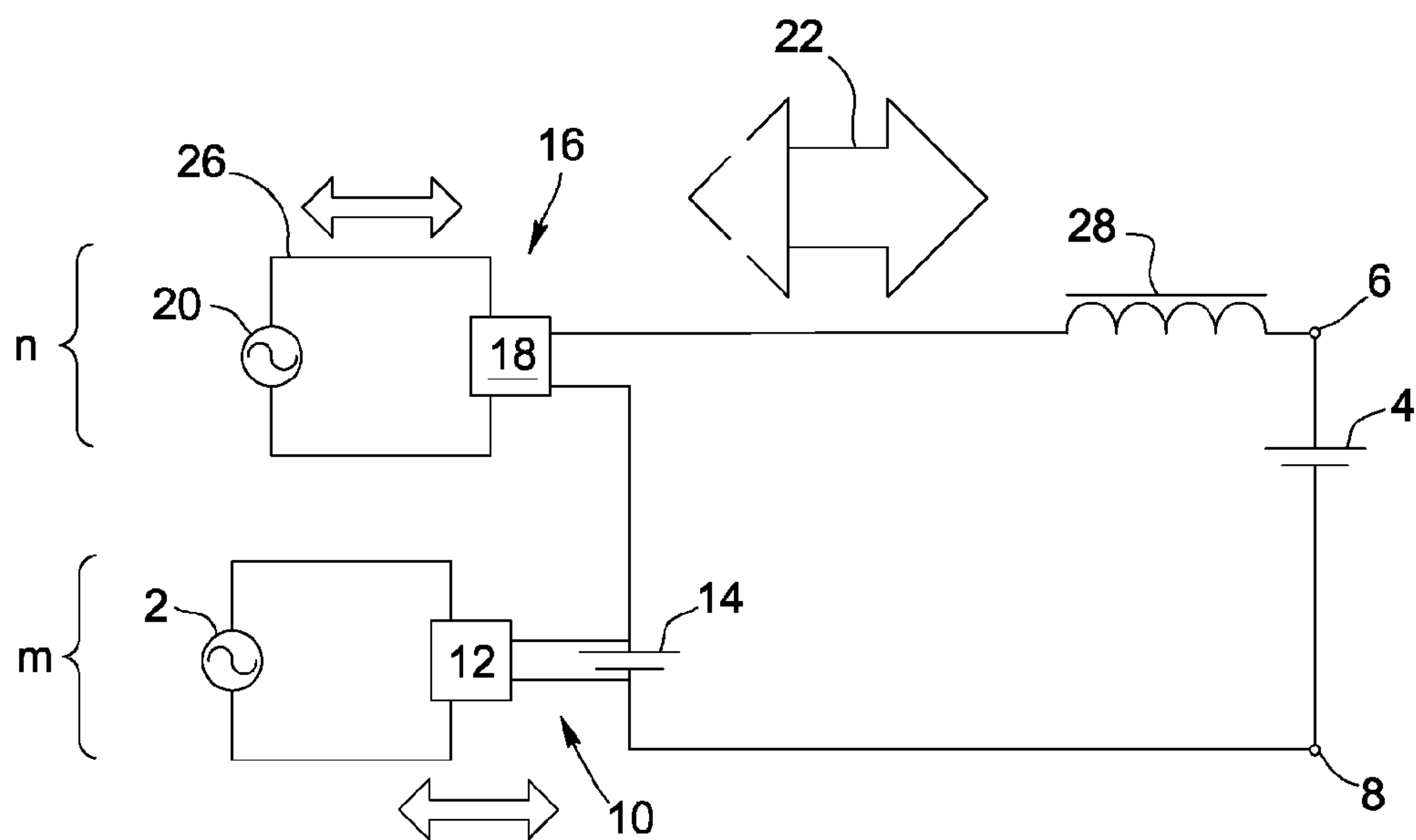
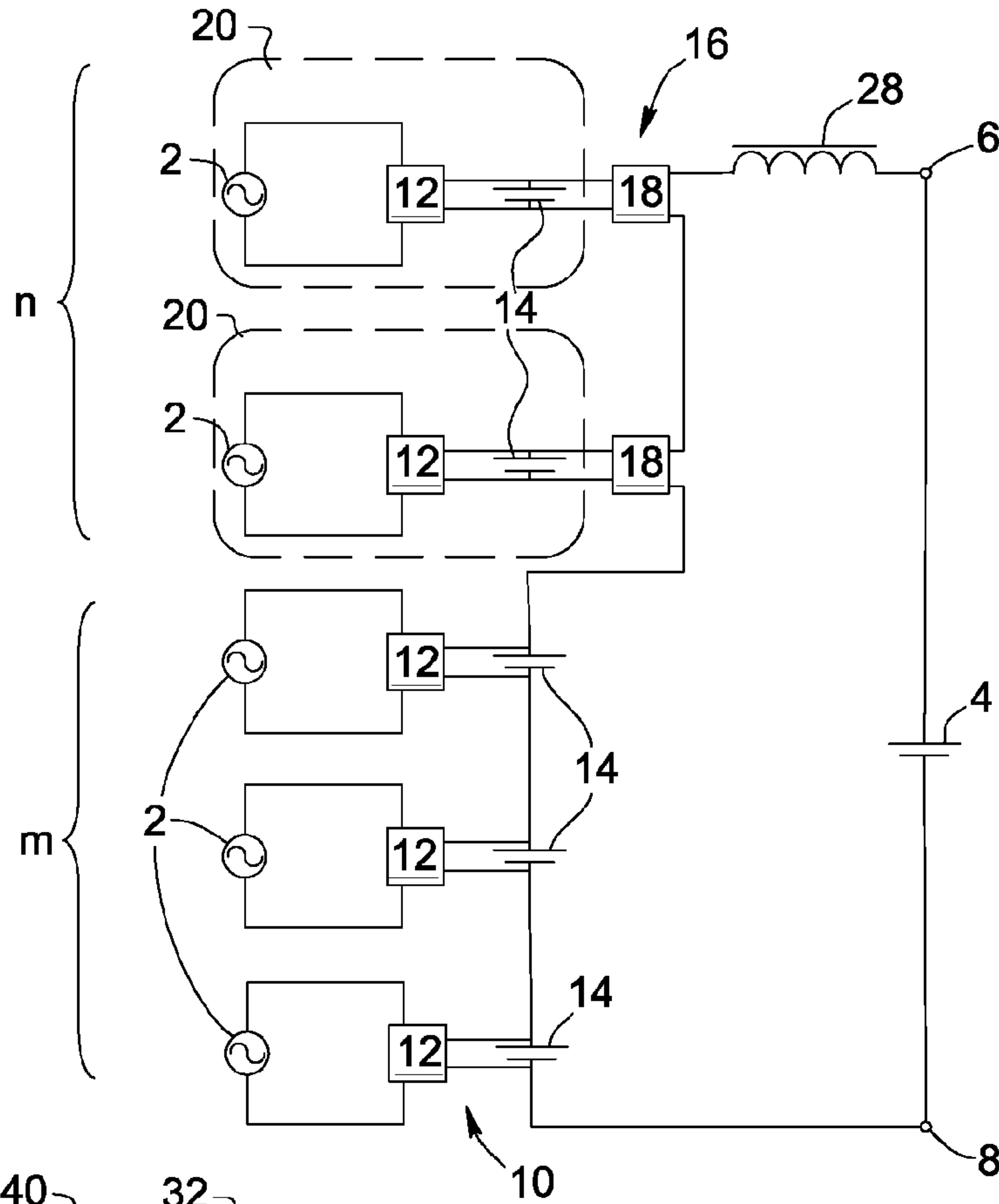
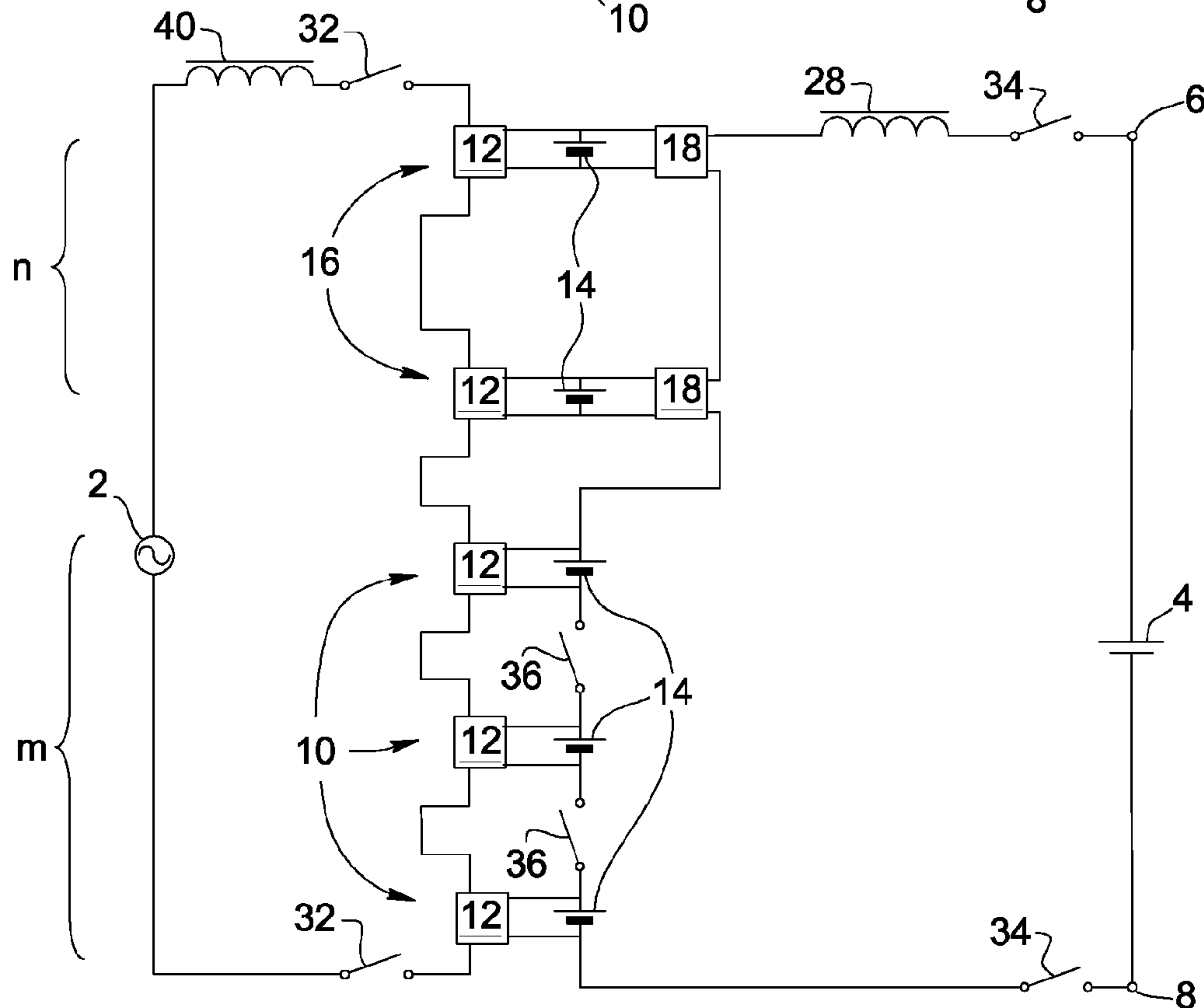
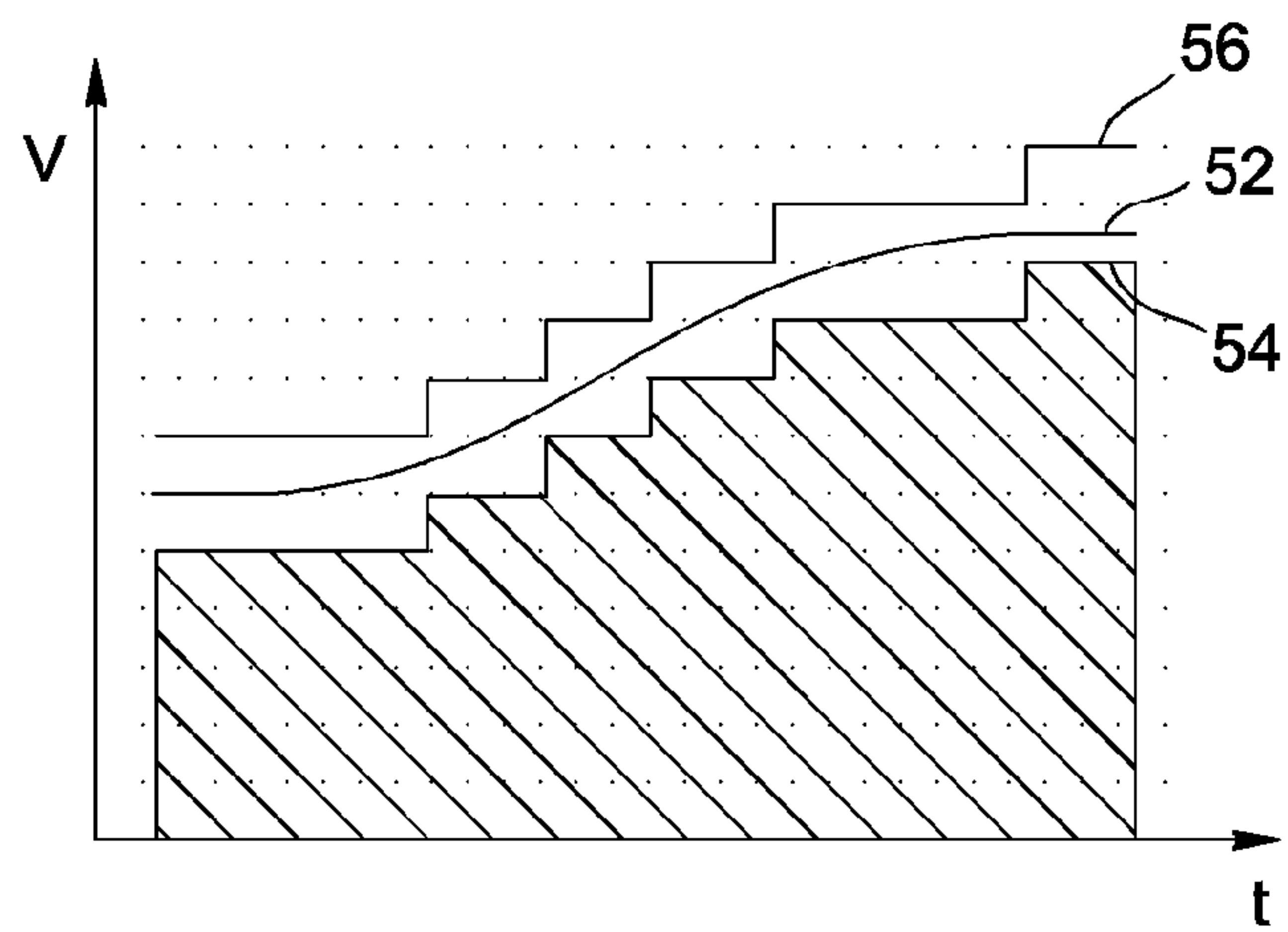
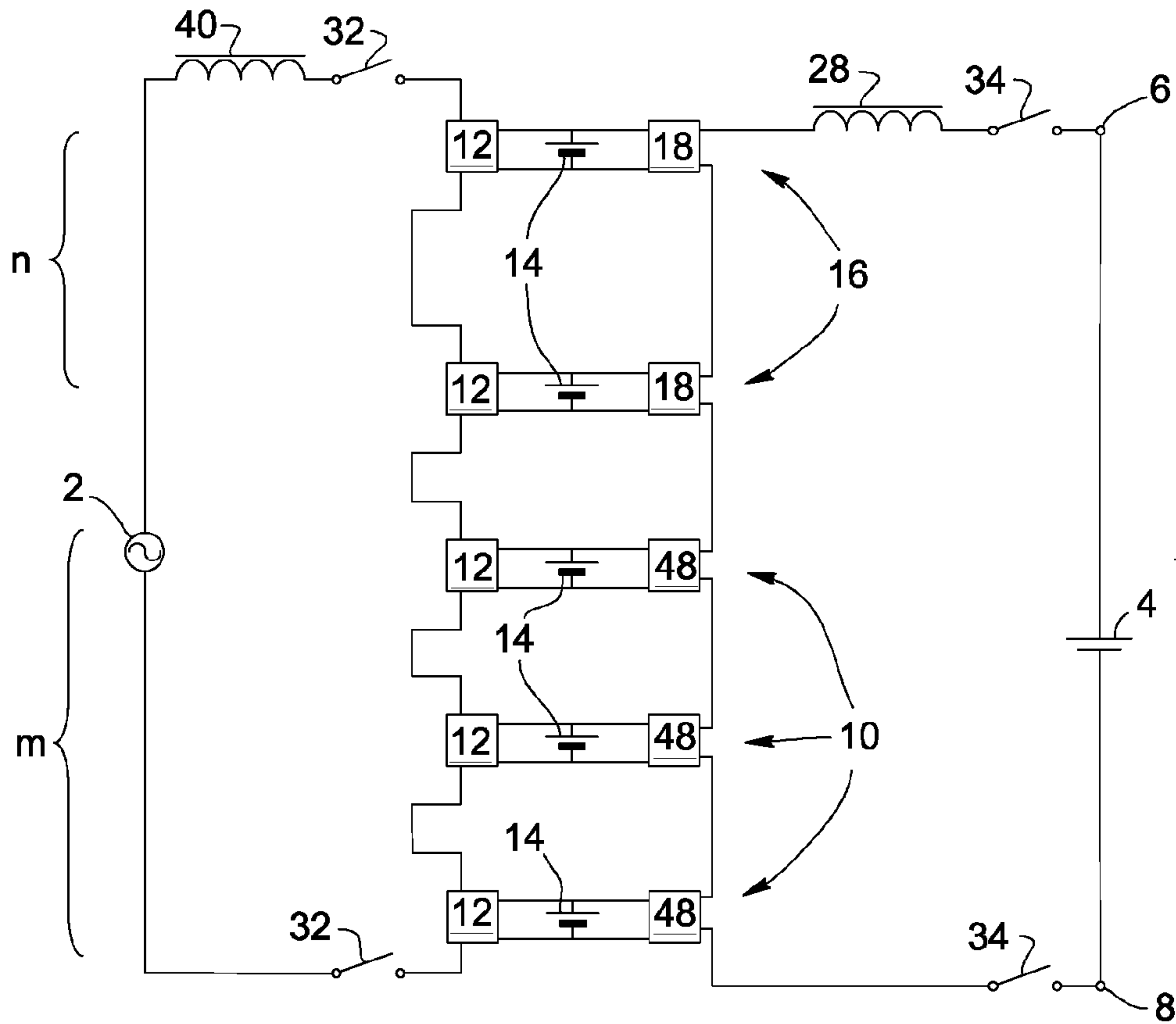


FIG. 2

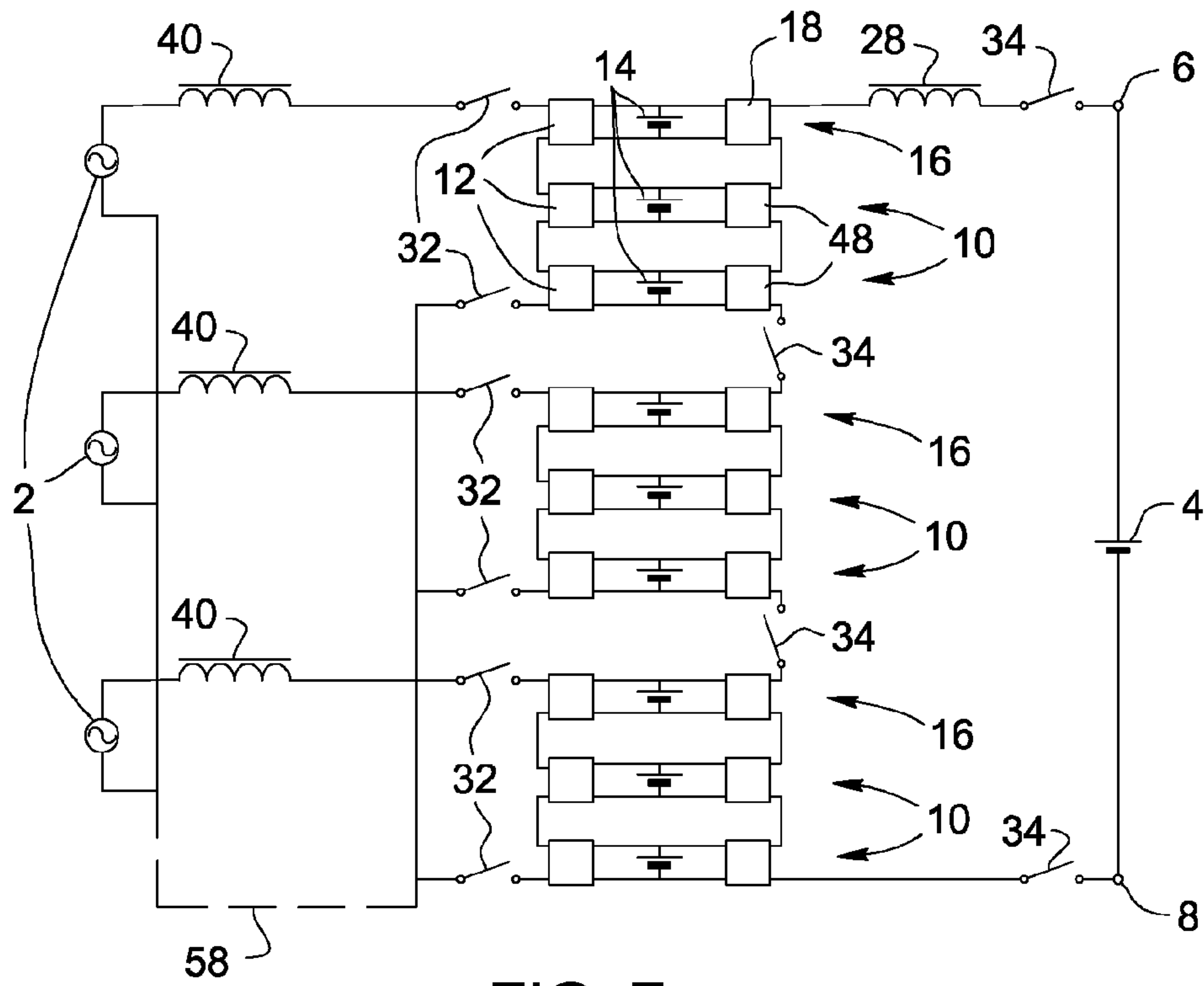
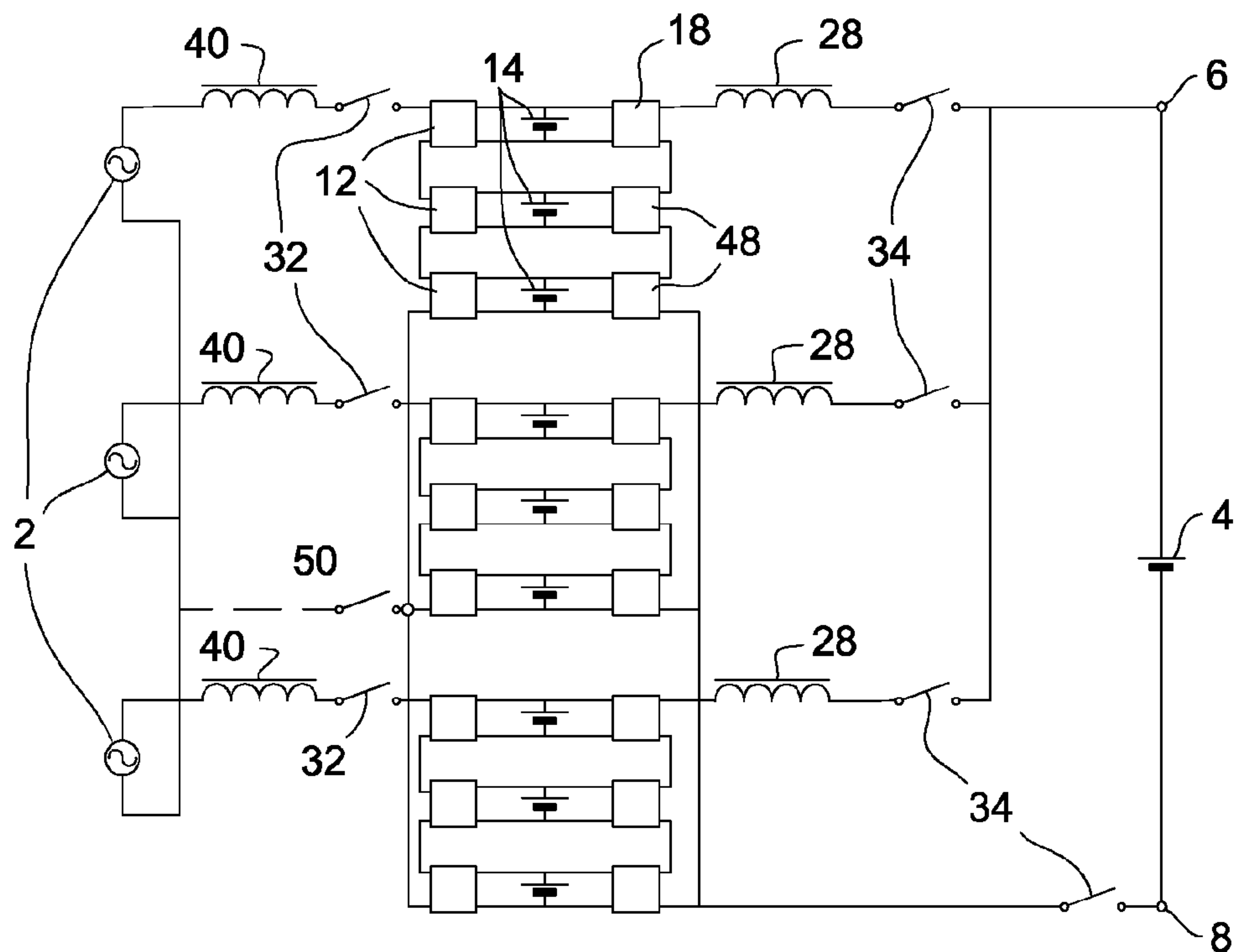
2/9

FIG. 3FIG. 4

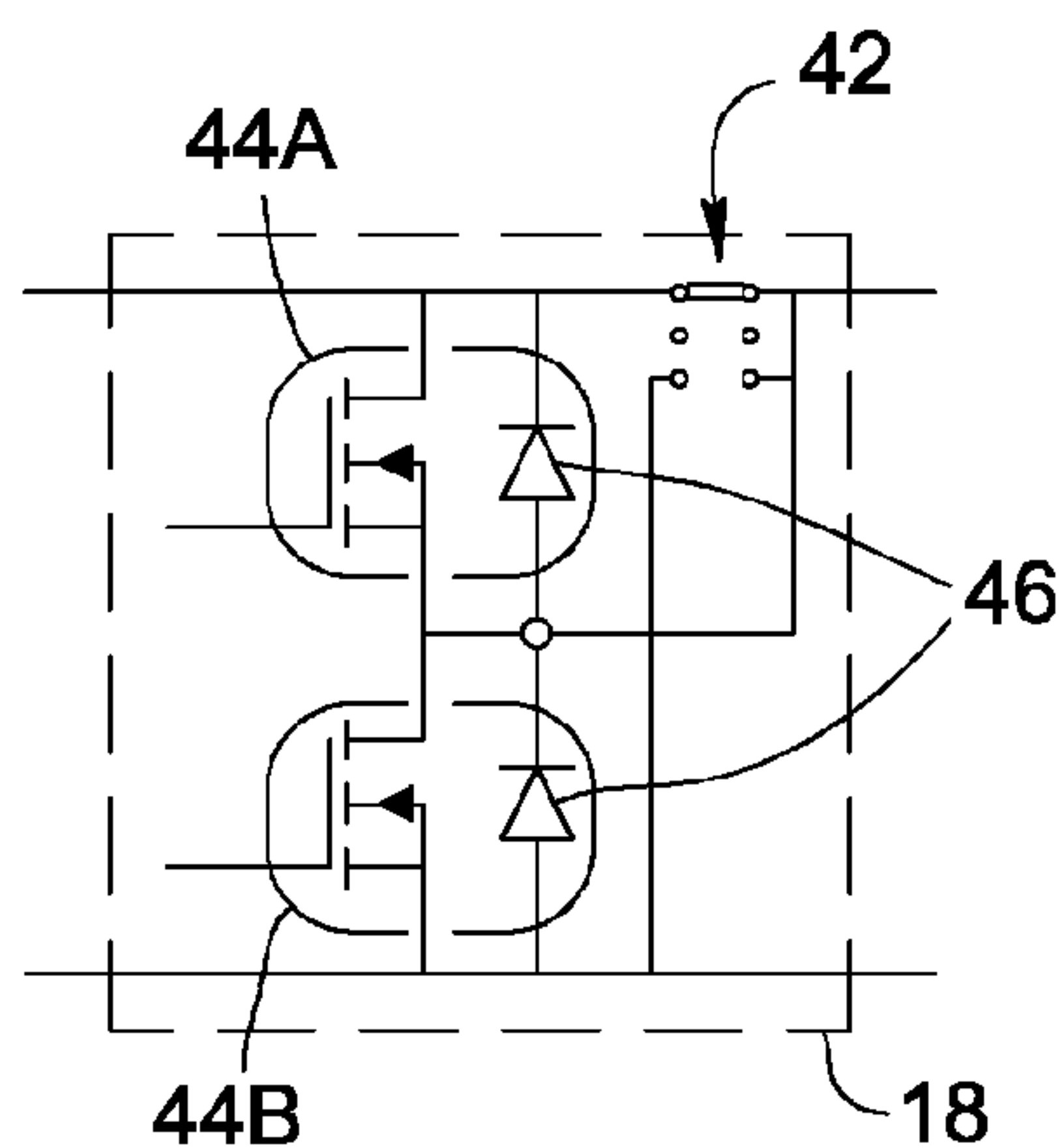
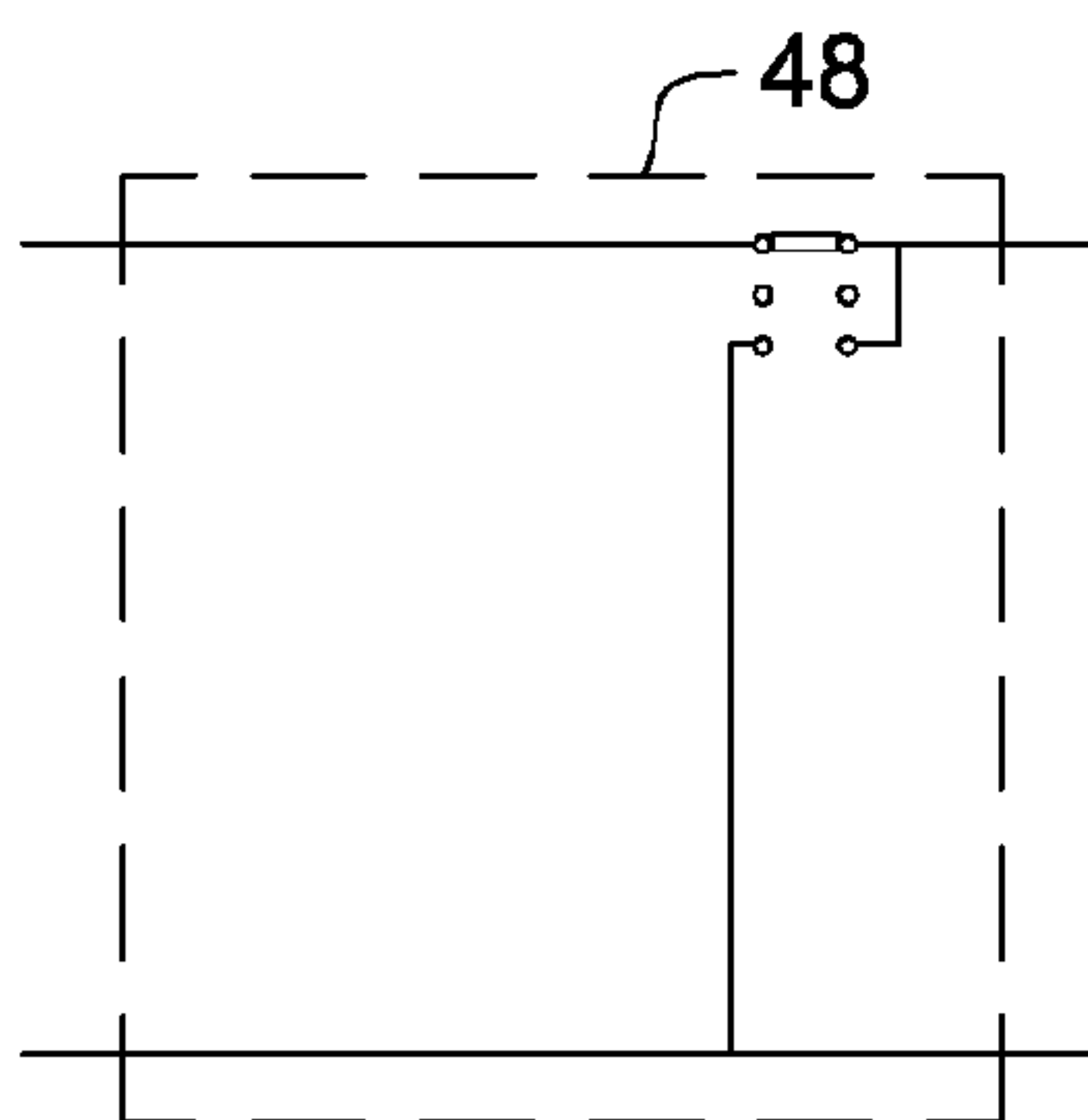
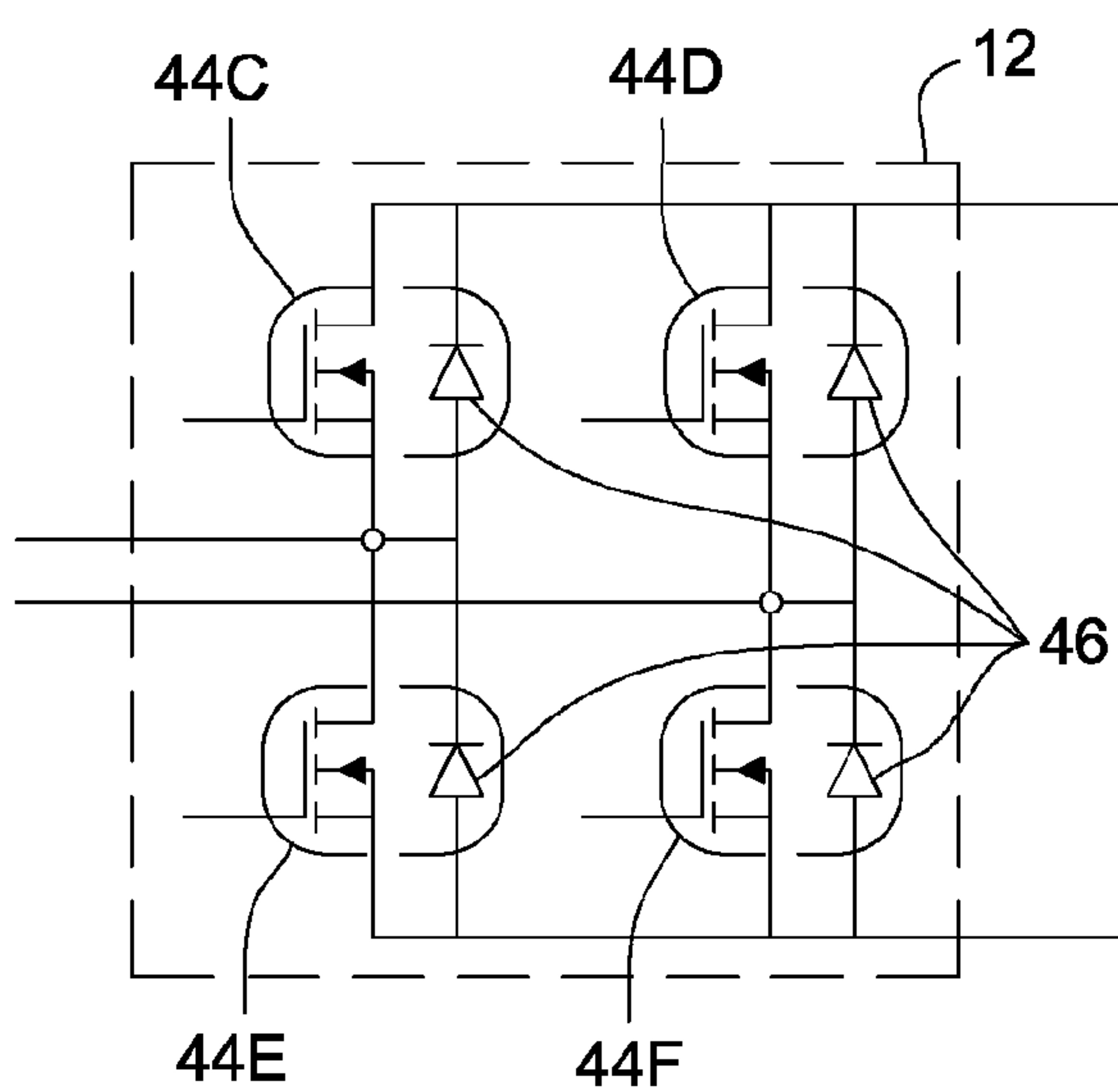
3/9



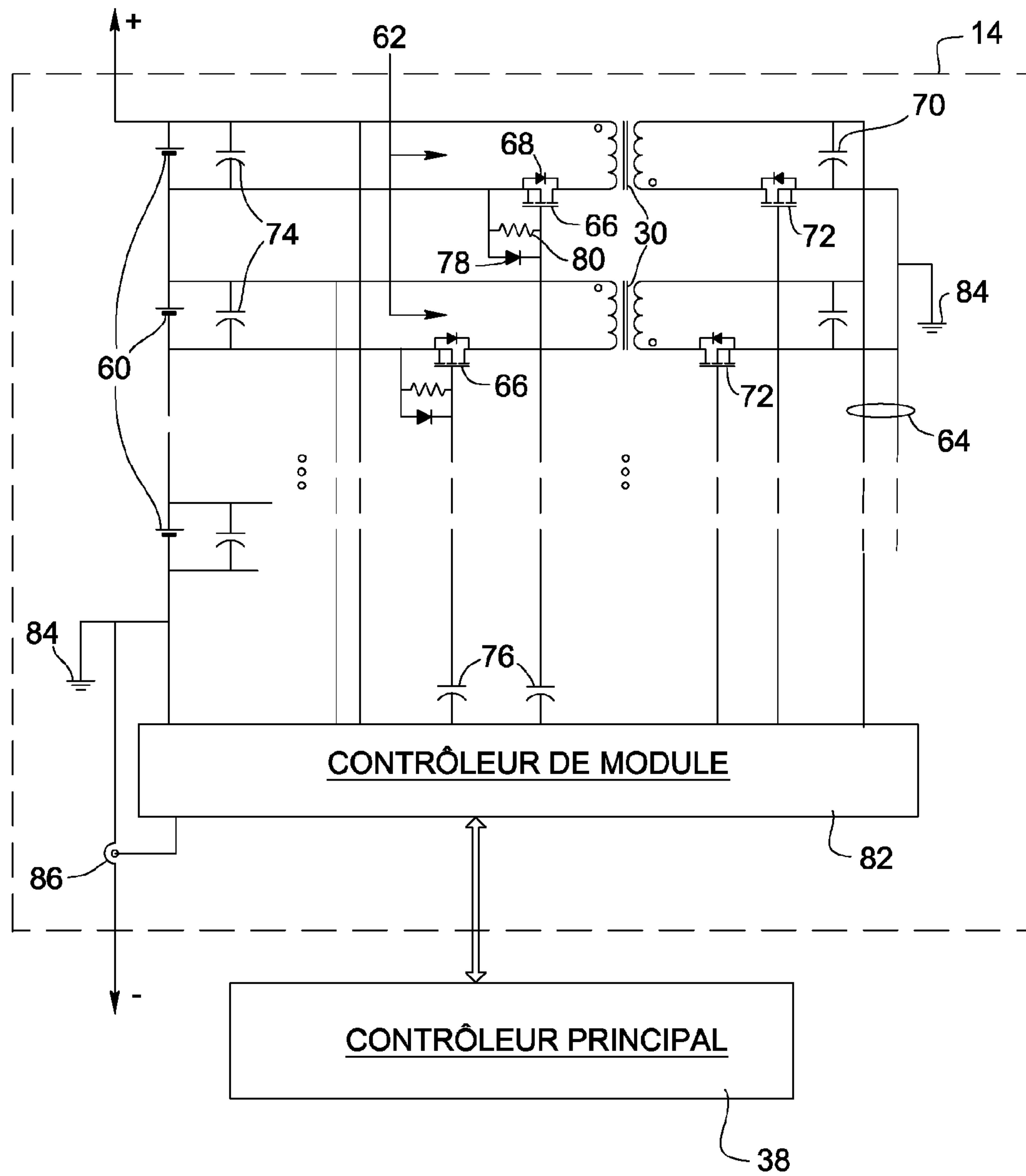
4/9

**FIG. 7****FIG. 8**

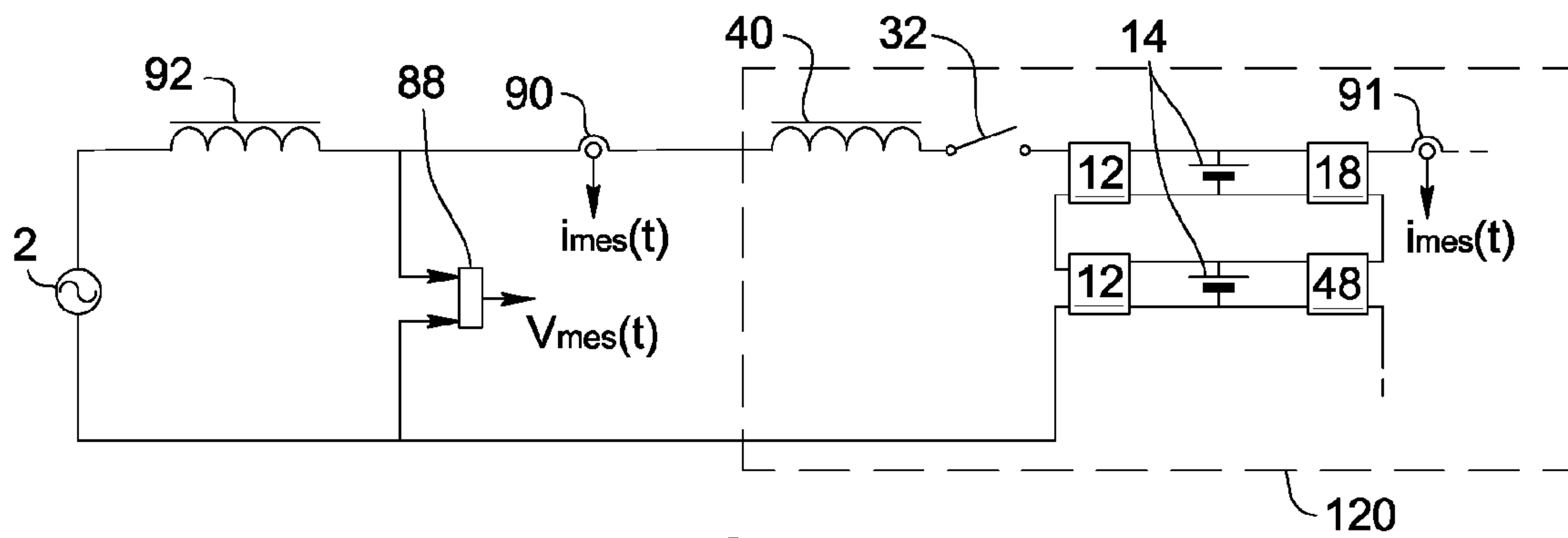
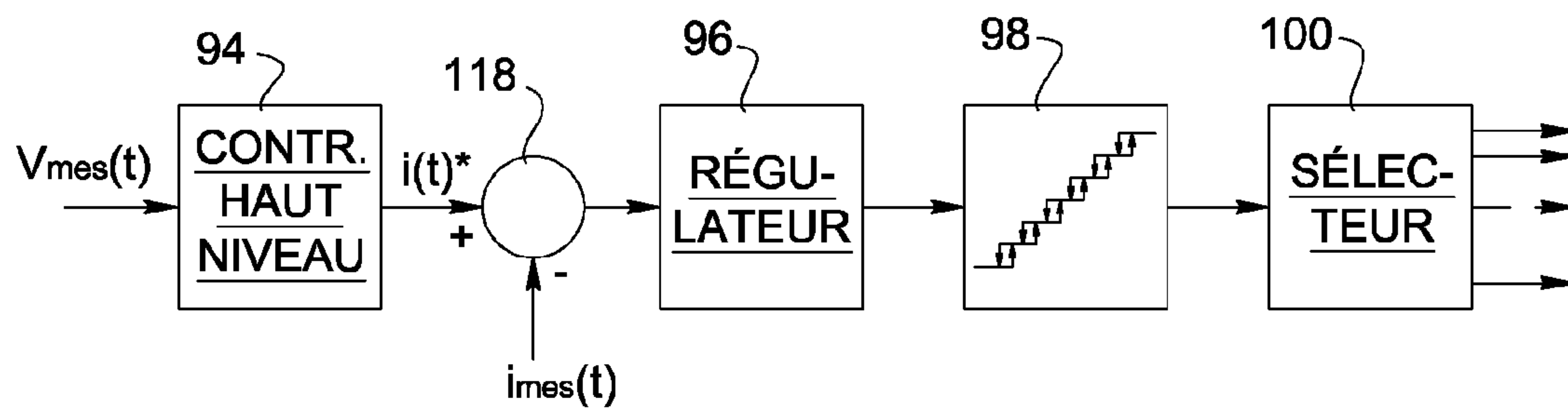
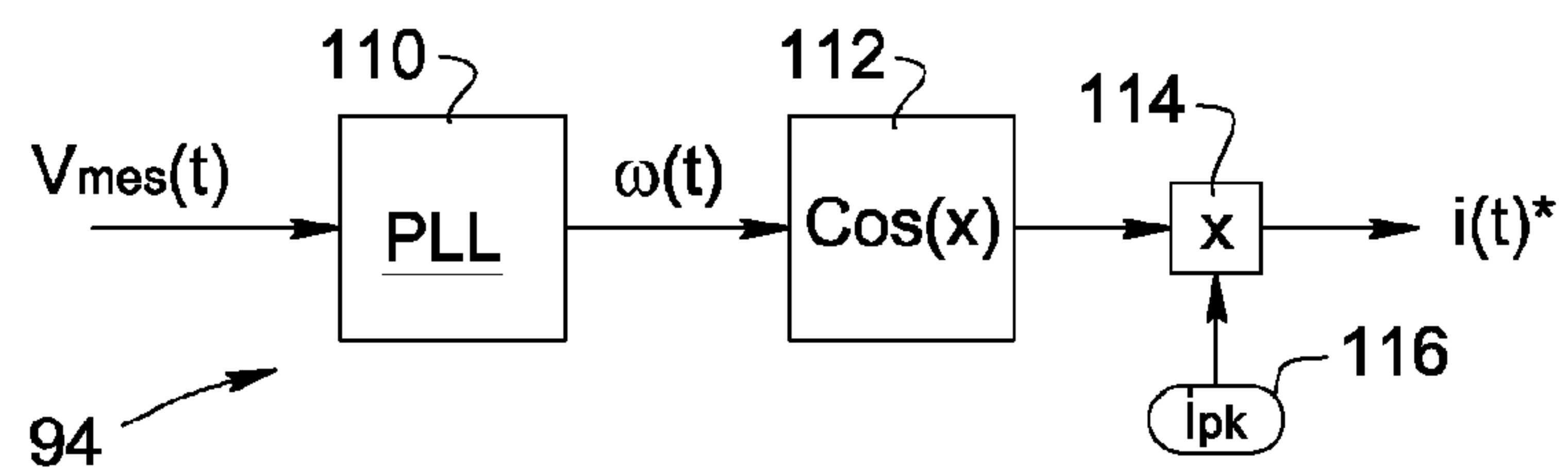
5/9

FIG. 9AFIG. 9BFIG. 10

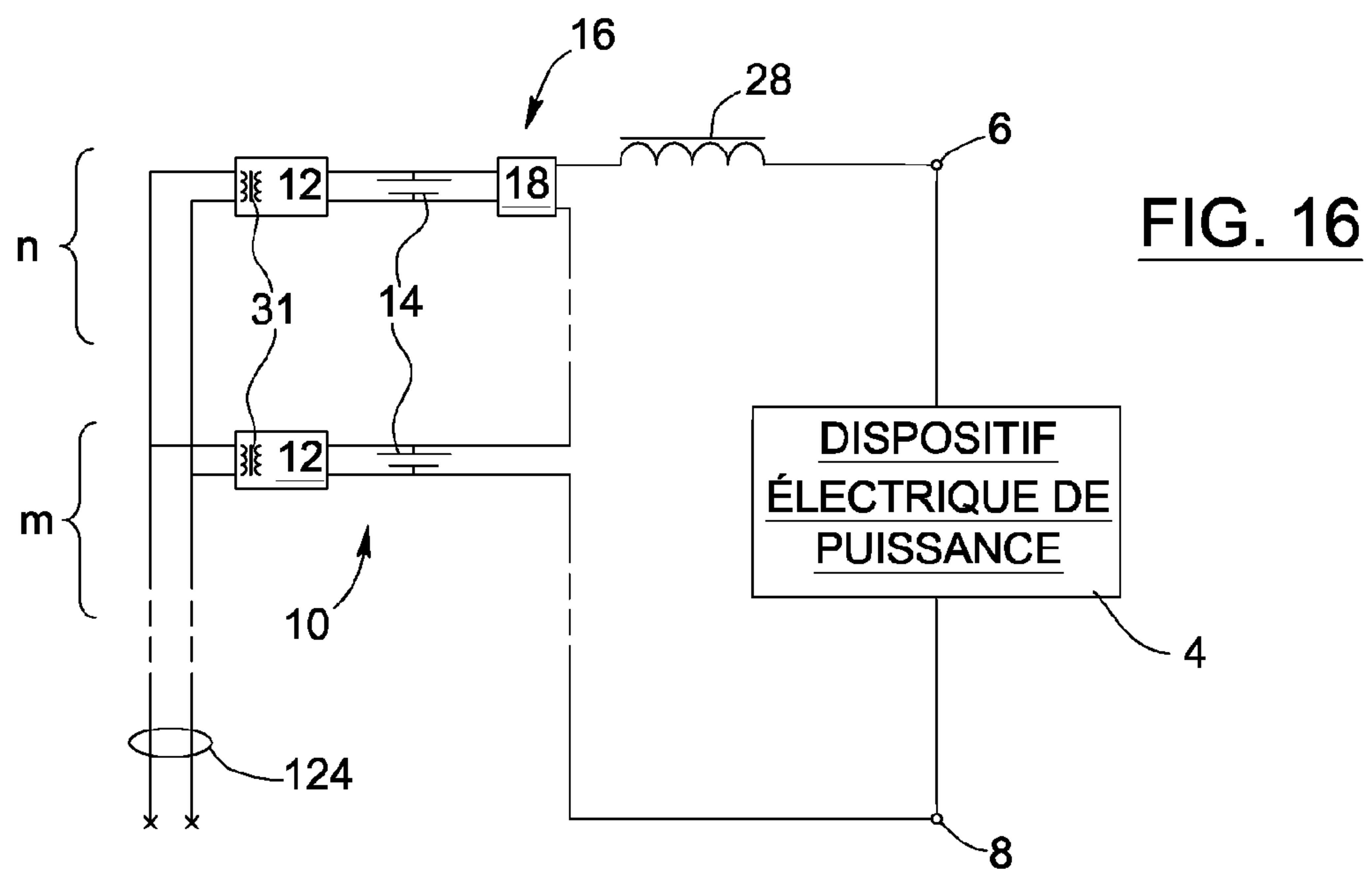
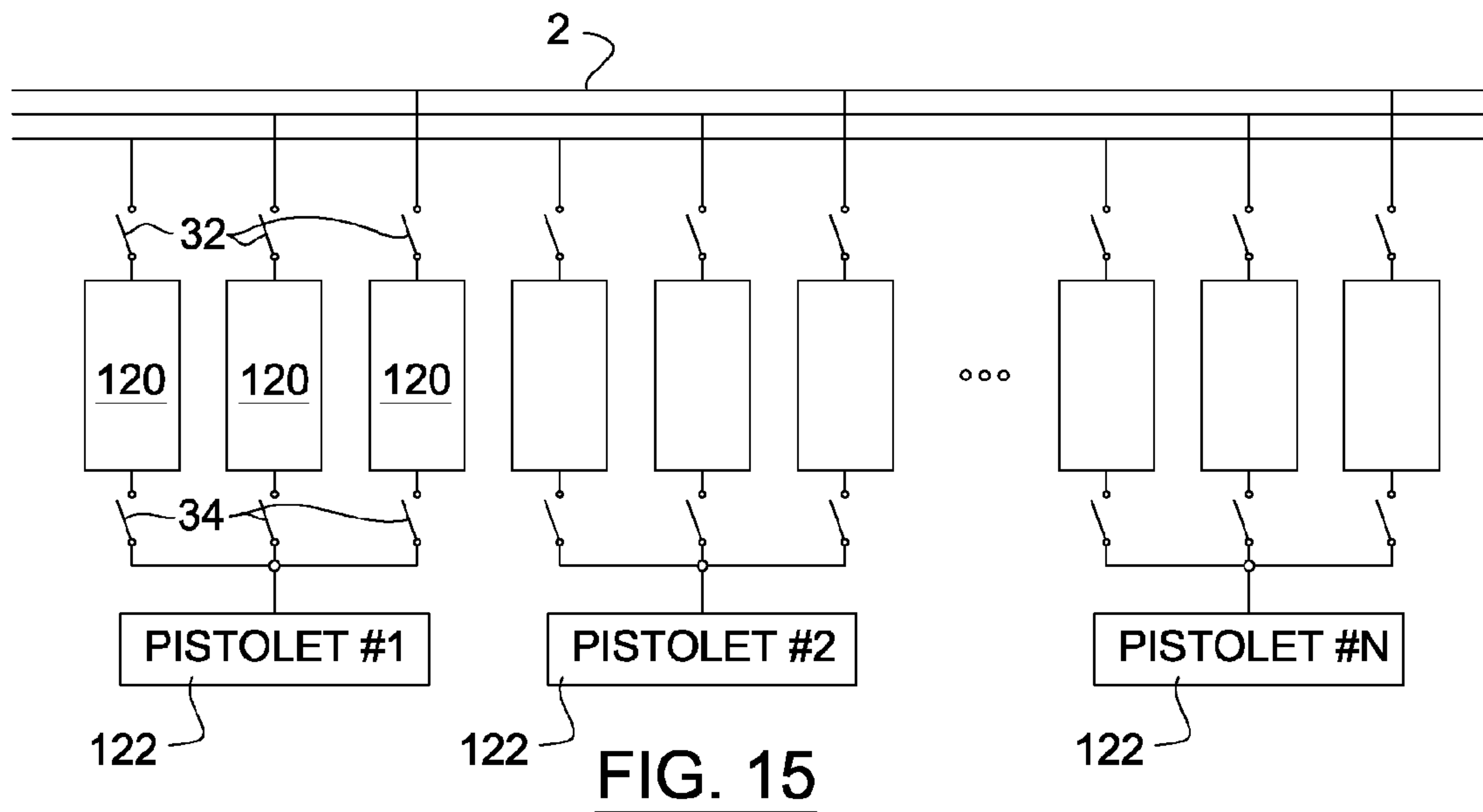
6/9

FIG. 11

7/9

FIG. 12FIG. 13FIG. 14

8/9



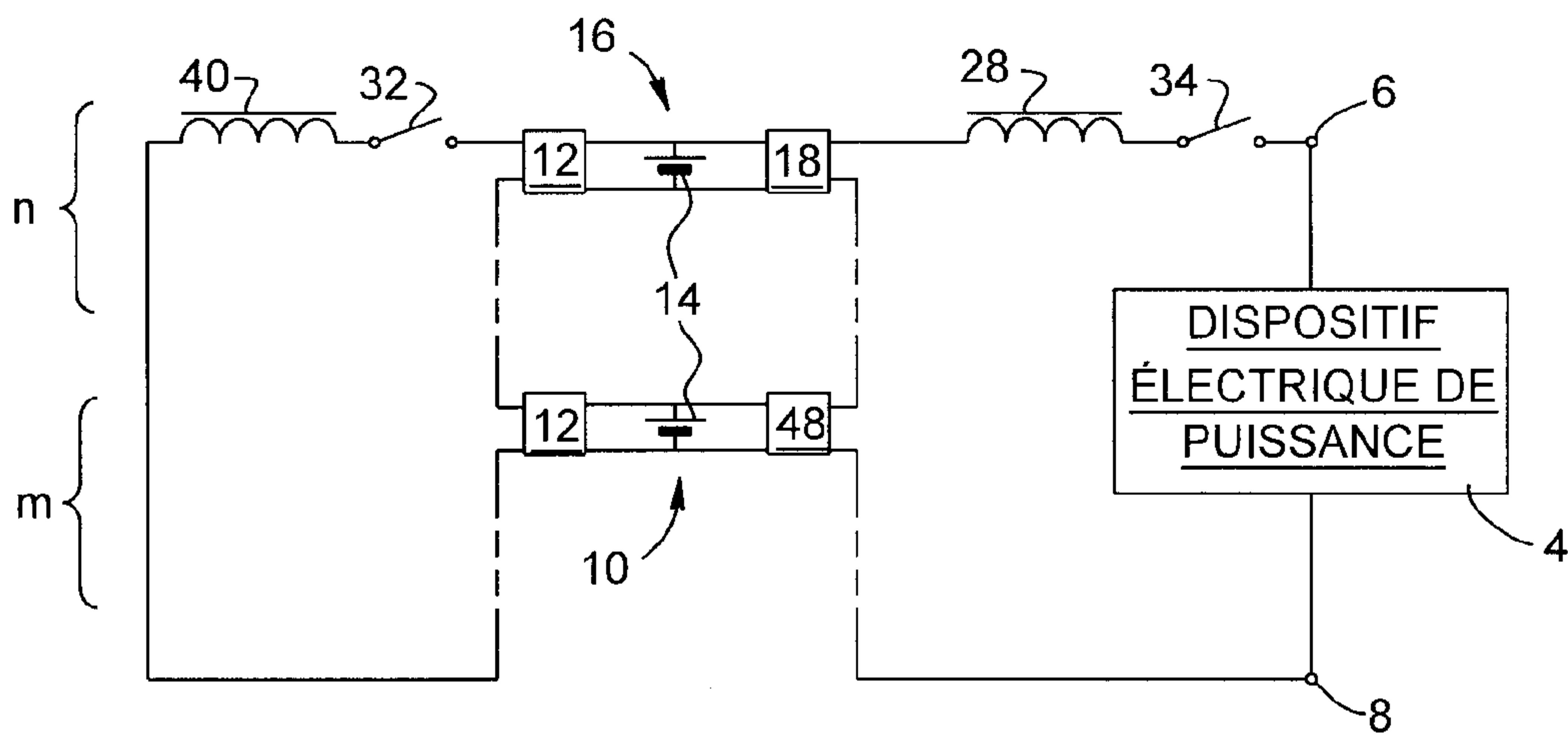


FIG. 17

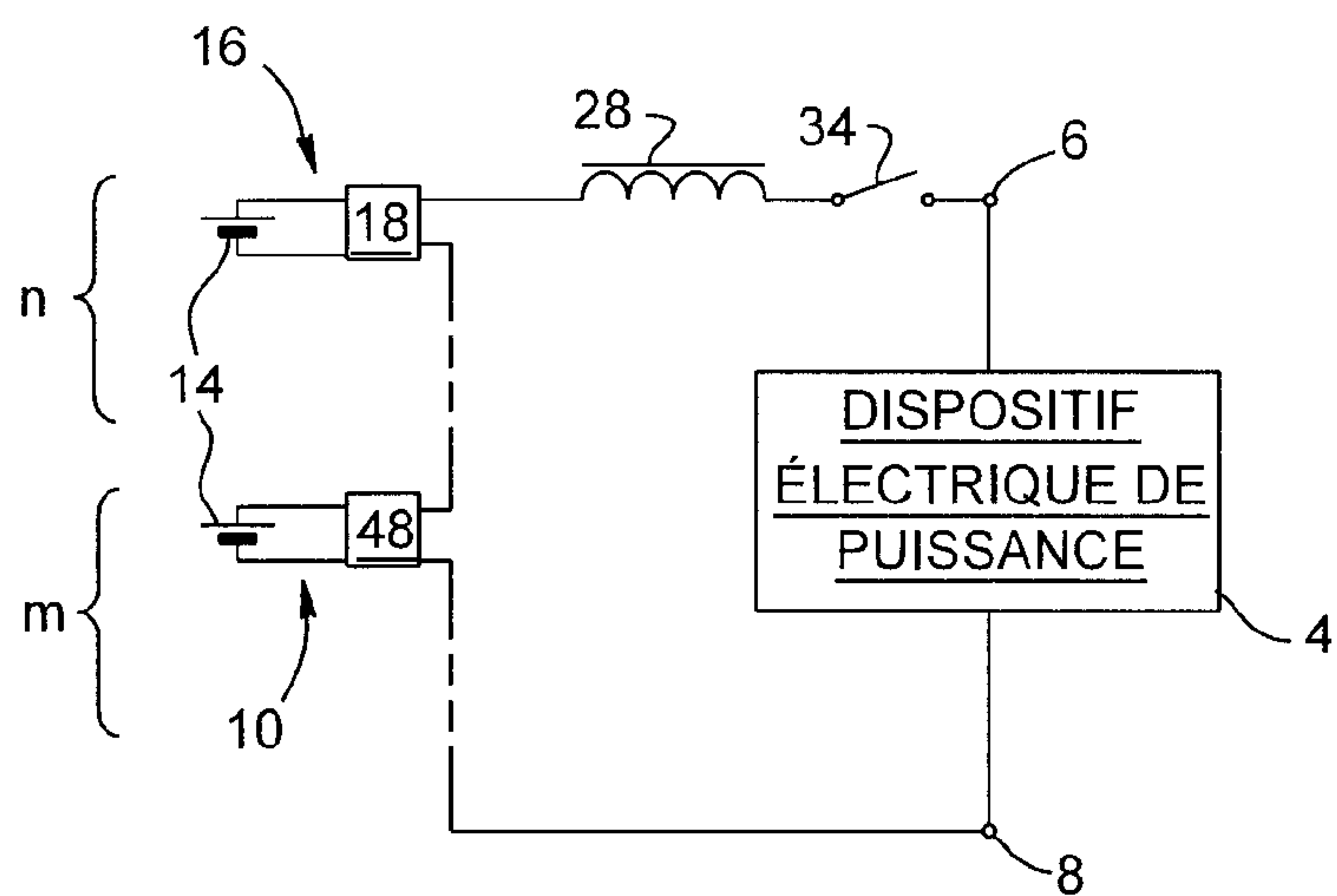


FIG. 18

