Office de la Propriété Intellectuelle du Canada
Un organisme d'Industrie Canada

Canadian Intellectual Property Office
An agency of Industry Canada

CA 2934363 A1 2015/07/02

(21) 2 934 363

(12) DEMANDE DE BREVET CANADIEN
CANADIAN PATENT APPLICATION

(13) A1

(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2014/12/22
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2015/07/02
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2016/06/17
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2014/053518
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2015/097401
(30) Priorité/Priority: 2013/12/27 (FR1363661)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *F25B 21/00* (2006.01)

(71) Demandeur/Applicant:
COOLTECH APPLICATIONS, FR

(72) Inventeur/Inventor:
MULLER, CHRISTIAN, FR

(74) Agent: LESPERANCE & MARTINEAU S.E.N.C.

(54) **Titre : GENERATEUR THERMIQUE MAGNETOCALORIQUE ET SON PROCEDE DE REFROIDISSEMENT**
(54) **Title: MAGNETOCALORIC THERMAL GENERATOR AND METHOD OF COOLING SAME**

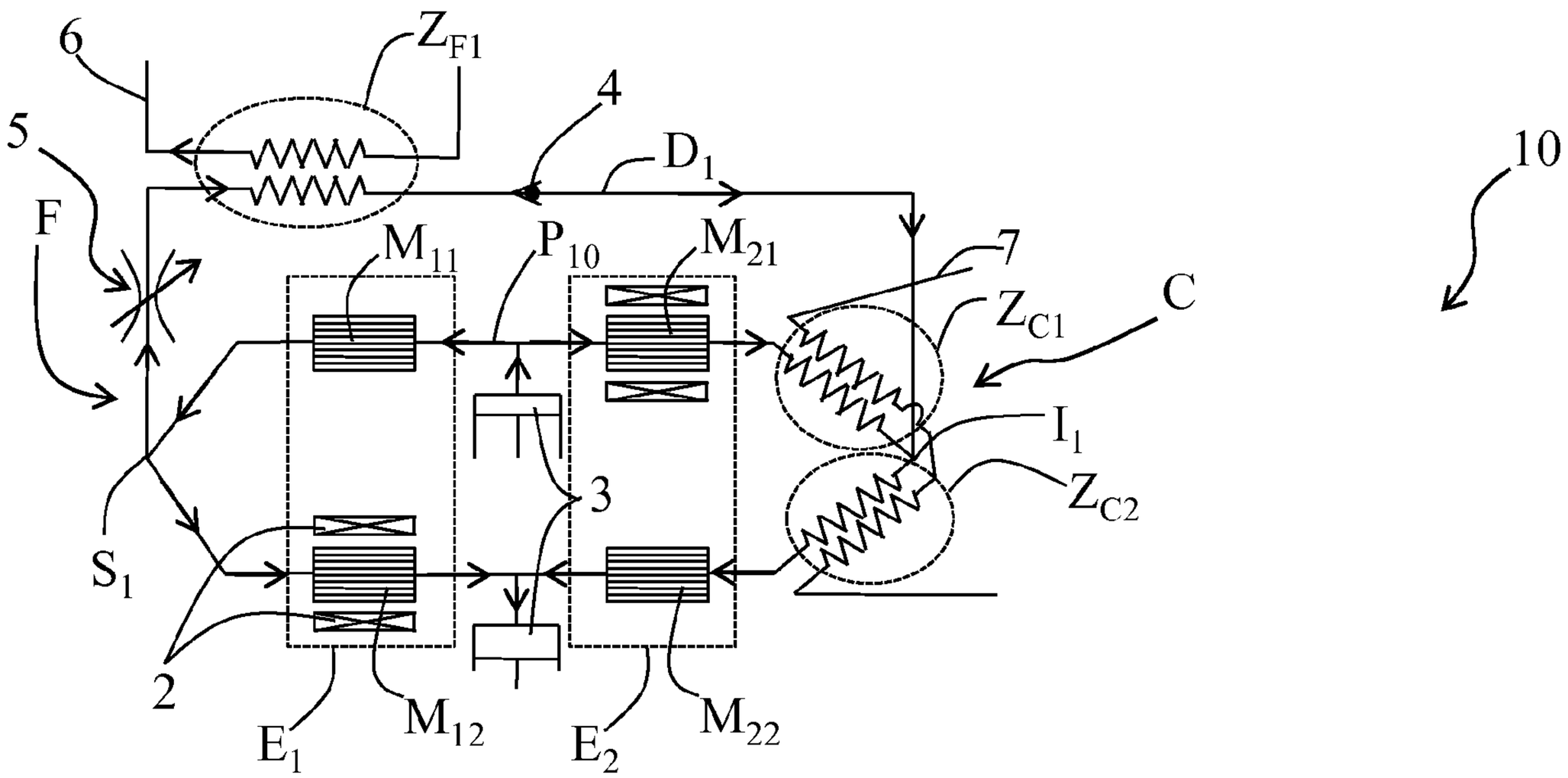


Fig. 1A

(57) **Abrégé/Abstract:**
L'invention concerne un générateur thermique magnétocalorique (10) comportant un circuit primaire (P_{10}) reliant fluidiquement deux étages (E_1, E_2) d'éléments magnétocaloriques (M_{11}, M_{12}, M_{21}, M_{22}) par un fluide caloporteur appelé fluide primaire circulant

CA 2934363 A1 2015/07/02

(21) 2 934 363

(13) A1

(57) **Abrégé(suite)/Abstract(continued):**
selon un mouvement alternatif de va-et-vient, lesdits étages (E_1, E_2) étant soumis au champ magnétique variable d'un système magnétique (2), et le circuit primaire comportant un côté froid (F) et un côté chaud (C) au niveau desquels les éléments magnétocaloriques (M_{11}, M_{12}, M_{21}, M_{22}) desdits étages (E_1, E_2) sont reliés fluidiquement. Au moins le côté froid (F) du circuit primaire comporte un point de sortie (S_1) relié à un autre point du circuit primaire, appelé point d'injection (I_1), du côté chaud (C) par l'intermédiaire d'une conduite de dérivation (D_1) autorisant le déplacement de fluide primaire uniquement du point de sortie (S_1) vers le point d'injection (I_1). Elle a également pour objet un procédé de refroidissement dudit d'un fluide secondaire par ledit générateur thermique magnétocalorique.

(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
2 juillet 2015 (02.07.2015)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2015/097401 A1

(51) Classification internationale des brevets :
F25B 21/00 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2014/053518

(22) Date de dépôt international :
22 décembre 2014 (22.12.2014)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1363661 27 décembre 2013 (27.12.2013) FR

(71) Déposant : **COOLTECH APPLICATIONS** [FR/FR]; Impasse Antoine Imbs, F-67810 Holtzheim (FR).

(72) Inventeur : **MULLER, Christian**; 10, rue de Zürich, F-67000 Strasbourg (FR).

(74) Mandataire : **NITHARDT, Roland**; Cabinet Nithardt & Associés S.A.S., 14 Bld Wallach, CS 91455, F-68071 Mulhouse Cedex (FR).

(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, BN, 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, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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, ST, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

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

— *avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2.h))*

(54) Title : MAGNETOCALORIC THERMAL GENERATOR AND METHOD OF COOLING SAME

(54) Titre : GENERATEUR THERMIQUE MAGNETOCALORIQUE ET SON PROCEDE DE REFROIDISSEMENT

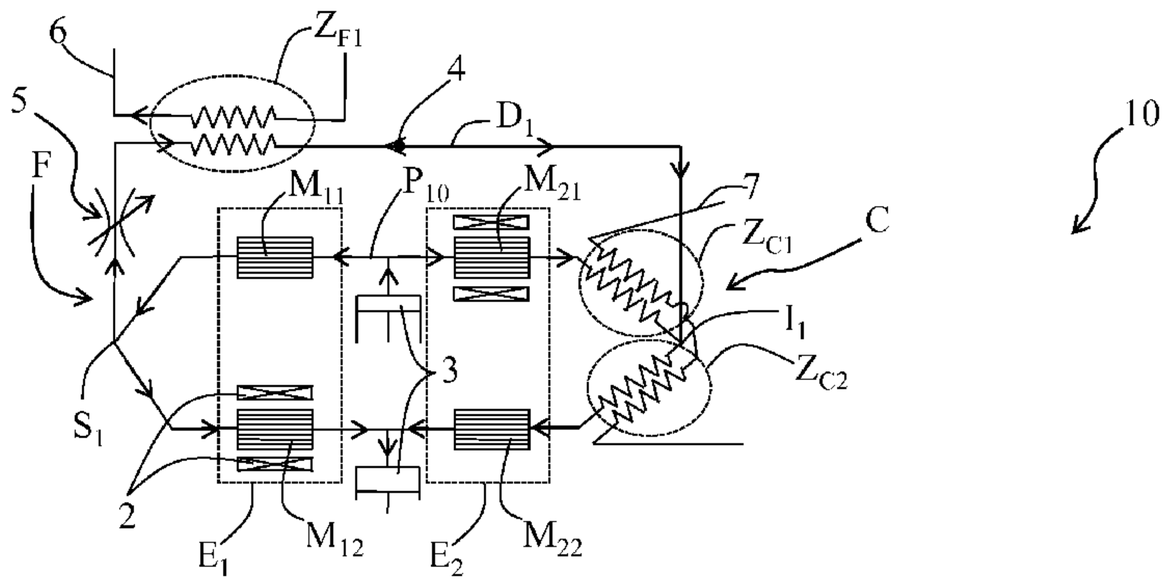


Fig. 1A

(57) Abstract : The invention relates to a magnetocaloric thermal generator (10) comprising a primary circuit (P_{10}) fluidically connecting two stages (E_1, E_2) of magnetocaloric elements (M_{11}, M_{12}, M_{21}, M_{22}) using a heat-transfer fluid referred to as primary fluid flowing alternately back and forth, said stages (E_1, E_2) being subjected to the variable magnetic field of a magnetic system (2), and the primary circuit comprising a cold side (F) and a hot side (C) at which the magnetocaloric elements (M_{11}, M_{12}, M_{21}, M_{22}) of said stages (E_1, E_2) are fluidically connected. At least the cold side (F) of the primary circuit comprises an outlet point (S_1) connected to another point of the primary circuit, referred to as the injection point (I_1), of the hot side (C) by a bypass pipe (D_1) allowing the primary fluid to be displaced only from the outlet point (S_1) toward the injection point (I_1). Another subject of the invention is a method of cooling said secondary fluid using said magnetocaloric thermal generator.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

WO 2015/097401 A1

WO 2015/097401 A1

L'invention concerne un générateur thermique magnétocalorique (10) comportant un circuit primaire (P_{10}) reliant fluidiquement deux étages (E_1, E_2) d'éléments magnétocaloriques (M_{11}, M_{12}, M_{21}, M_{22}) par un fluide caloporteur appelé fluide primaire circulant selon un mouvement alternatif de va-et-vient, lesdits étages (E_1, E_2) étant soumis au champ magnétique variable d'un système magnétique (2), et le circuit primaire comportant un côté froid (F) et un côté chaud (C) au niveau desquels les éléments magnétocaloriques (M_{11}, M_{12}, M_{21}, M_{22}) desdits étages (E_1, E_2) sont reliés fluidiquement. Au moins le côté froid (F) du circuit primaire comporte un point de sortie (S_1) relié à un autre point du circuit primaire, appelé point d'injection (I_1), du côté chaud (C) par l'intermédiaire d'une conduite de dérivation (D_1) autorisant le déplacement de fluide primaire uniquement du point de sortie (S_1) vers le point d'injection (I_1). Elle a également pour objet un procédé de refroidissement dudit d'un fluide secondaire par ledit générateur thermique magnétocalorique.

GENERATEUR THERMIQUE MAGNETOCALORIQUE ET SON PROCEDE DE REFROIDISSEMENT

Domaine technique :

La présente invention concerne un générateur thermique magnétocalorique comportant au moins un circuit primaire reliant fluidiquement des éléments magnétocaloriques par un fluide caloporteur appelé fluide primaire circulant selon un mouvement alternatif de va-et-vient, lesdits éléments magnétocaloriques étant soumis au champ magnétique variable d'un système magnétique créant alternativement, dans chaque élément magnétocalorique, une phase magnétique d'échauffement et une phase magnétique de refroidissement, générateur dans lequel le circuit primaire comporte un côté froid et un côté chaud au niveau desquels des éléments magnétocaloriques sont reliés fluidiquement entre eux.

Elle concerne également un procédé de refroidissement d'un fluide dit fluide secondaire par un générateur thermique magnétocalorique.

Technique antérieure :

La technologie du froid magnétique à température ambiante est connue depuis plus d'une trentaine d'années et on sait les avantages qu'elle apporte en termes d'écologie et de développement durable. On connaît également ses limites quant à sa puissance calorifique utile et à son rendement. Dès lors, les recherches menées dans ce domaine tendent toutes à améliorer les performances d'un tel générateur, en jouant sur les différents paramètres, tels que la puissance d'aimantation, les performances de l'élément magnétocalorique, la surface d'échange entre le fluide caloporteur et les éléments magnétocaloriques, les performances des échangeurs de chaleur, etc.

Ces générateurs thermiques exploitent l'effet magnétocalorique (EMC) de certains matériaux, qui consiste en une variation de leur température lorsqu'ils sont soumis à un champ magnétique variable. Dans de tels générateurs, les matériaux magnétocaloriques sont soumis à une succession de phases magnétiques d'aimantation et de désaimantation, et un échange thermique avec un fluide caloporteur appelé fluide primaire est réalisé pour collecter ainsi l'énergie thermique produite par lesdits matériaux et parvenir à une variation de température la plus élargie possible au sein de ces matériaux (gradient de température). Pour ce faire, la circulation du fluide primaire est alternée et ce fluide primaire circule dans des canaux ou des pores traversant le matériau magnétocalorique. Un cycle magnétocalorique comprend deux phases, à savoir une phase de magnétisation ou d'aimantation, et une phase de démagnétisation ou de désaimantation, qui se traduisent par une énergie disponible à chaque phase. Ce cycle est répété jusqu'à des fréquences de plusieurs Hertz. Pendant ces phases, le matériau magnétocalorique est parcouru par le fluide primaire qui va, soit se réchauffer au contact du matériau lors d'une phase dite de magnétisation, soit se refroidir au contact du matériau lors d'une phase dite de démagnétisation. L'effet magnétocalorique, correspondant à une variation d'entropie dudit matériau, est maximum lorsque la température du matériau est proche de sa température de Curie.

Or, un générateur thermique magnétocalorique doit pouvoir échanger l'énergie thermique qu'il produit avec au moins une application extérieure. Cet échange est généralement réalisé par un ou des échangeurs de chaleur qui ont pour objectif de restituer ou d'échanger avec une ou plusieurs applications extérieures audit générateur thermique magnétocalorique l'énergie thermique produite par ledit générateur thermique. Ces applications extérieures peuvent être l'air environnant, le générateur thermique, un dispositif ou une enceinte thermique, par exemple.

Dans une configuration classique, les éléments magnétocaloriques d'un générateur thermique magnétocalorique sont reliés entre eux au niveau du côté chaud par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur et de manière symétrique ils sont également

reliés entre eux au niveau du côté froid par l'intermédiaire d'un autre échangeur de chaleur. Or, l'expérience a montré qu'une telle configuration présente des limites.

Cela est particulièrement le cas lorsque le côté froid du générateur thermique est exploité. Le fait de réaliser un échange thermique avec une application ou un circuit secondaire présentant un écart de température important par rapport à la température du fluide primaire a pour effet de réchauffer considérablement le côté froid du générateur et de dégrader son efficacité thermique. En d'autres termes, le gradient thermique établi dans le générateur thermique est dégradé, de sorte qu'une partie de la puissance produite par l'effet magnétocalorique doit être utilisée pour rétablir ce gradient, et qu'en conséquence cette partie de la puissance ne pourra pas être exploitée ou utilisée par la ou les applications extérieures.

De la même manière, lorsque le côté chaud du générateur thermique magnétocalorique est exploité, il y a un risque de refroidir le côté chaud du générateur et de dégrader son efficacité thermique.

Pour exploiter de manière optimale la puissance d'un générateur thermique, il est donc nécessaire d'optimiser les caractéristiques d'échanges thermiques entre le circuit primaire et le circuit secondaire.

Exposé de l'invention :

La présente invention vise à pallier ces inconvénients en proposant une solution aux problèmes évoqués ci-dessus. A cet effet, le générateur thermique magnétocalorique selon l'invention est réalisé de telle sorte que le transfert d'énergie thermique entre le générateur thermique et la ou les applications extérieures destinées à être réfrigérées, refroidies ou réchauffées est optimisé pour avoir un impact le plus faible possible sur le gradient thermique établi dans le générateur thermique magnétocalorique et sur sa puissance thermique. L'invention a également pour objet un générateur thermique

magnétocalorique particulièrement adapté pour le refroidissement en continu d'un fluide circulant dans un circuit secondaire.

A cet effet, la présente invention propose un générateur thermique magnétocalorique du genre indiqué en préambule, caractérisé en ce qu'au moins un desdits côtés chaud et froid du circuit primaire comporte au moins un point de sortie relié à un autre point du circuit primaire, appelé point d'injection par l'intermédiaire d'au moins une conduite de dérivation autorisant le déplacement de fluide primaire dans un seul sens, uniquement du point de sortie vers le point d'injection.

Dans un mode de réalisation préféré, les éléments magnétocaloriques peuvent être répartis dans au moins deux étages, et les éléments magnétocaloriques d'un desdits étages peuvent être reliés fluidiquement entre eux au niveau du côté froid et les éléments magnétocaloriques d'un autre desdits étages peuvent être reliés fluidiquement entre eux au niveau du côté chaud.

Dans une première variante, les éléments magnétocaloriques de deux étages reliés peuvent être constamment dans une phase magnétique inverse. Dans une autre variante, les éléments magnétocaloriques de deux étages reliés peuvent être constamment dans une phase magnétique identique.

Selon l'invention, la conduite de dérivation peut être reliée thermiquement à un circuit secondaire par au moins une zone d'échange thermique.

En outre, ladite zone d'échange thermique peut être conçue pour réaliser un déplacement à contre-courant, co-courant ou courant croisé entre le fluide primaire et un fluide secondaire dudit circuit secondaire.

La conduite de dérivation peut avantageusement comporter un dispositif de réglage du débit de fluide primaire y circulant.

Dans un mode de réalisation, ledit au moins un point de sortie est situé dans le côté froid du circuit primaire. Dans ce mode, le point d'injection peut être situé dans le côté chaud du circuit primaire.

Dans un second mode de réalisation, ledit au moins un point de sortie est situé dans le côté chaud du circuit primaire. Dans ce mode, le point d'injection peut être situé dans le côté froid du circuit primaire.

Dans les deux modes de réalisation, le point d'injection peut, en variante, être situé entre deux étages d'éléments magnétocaloriques.

Dans encore une autre variante, le point d'injection peut être situé entre des éléments magnétocaloriques consécutifs de chaque étage.

Egalement, la présente invention propose un procédé de refroidissement d'un fluide dit fluide secondaire par un générateur thermique magnétocalorique du genre indiqué en préambule, caractérisé en ce qu'il consiste à relier thermiquement le circuit secondaire dans lequel circule le fluide secondaire par au moins une zone d'échange thermique à une conduite de dérivation dudit générateur thermique magnétocalorique et à faire circuler en continu ledit fluide secondaire dans ledit circuit secondaire.

Un tel procédé est particulièrement adapté pour réaliser le refroidissement d'un fluide secondaire qui est en permanence renouvelé. Ainsi, ce procédé est avantageux pour le refroidissement d'un fluide secondaire qui est dans un circuit secondaire qui ne reboucle pas sur lui-même, et dans lequel le flux hydraulique et le flux thermique du fluide secondaire sont continus.

Description sommaire des dessins :

La présente invention et ses avantages apparaîtront mieux dans la description suivante des modes de réalisation donnés à titre d'exemples non limitatifs, en référence aux dessins annexés, dans lesquels:

- les figures 1A et 1B sont des vues schématiques de deux étages d'un générateur thermique selon une première variante de réalisation, dans des phases magnétiques opposées,
- les figures 2A à 2B sont des vues schématiques de deux étages d'un générateur thermique selon une deuxième variante de réalisation, dans des phases magnétiques opposées,
- les figures 3A et 3B sont des vues schématiques de deux étages d'un générateur thermique selon une troisième variante de réalisation, dans des phases magnétiques opposées,
- les figures 4A et 4B sont des vues schématiques de deux étages d'un générateur thermique selon une quatrième variante de réalisation, dans des phases magnétiques opposées,
- les figures 5A et 5B sont des vues schématiques de deux étages d'un générateur thermique selon une cinquième variante de réalisation, dans des phases magnétiques opposées,
- les figures 6A et 6B sont des vues schématiques de deux étages d'un générateur thermique selon une sixième variante de réalisation, dans des phases magnétiques opposées,
- les figures 7A et 7B sont des vues schématiques de deux étages d'un générateur thermique selon une septième variante de réalisation, dans des phases magnétiques opposées,
- les figures 8A et 8B sont des vues schématiques de deux étages d'un générateur thermique selon une huitième variante de réalisation, dans des phases magnétiques opposées,
- la figure 9 est une vue en perspective simplifiée du générateur thermique comportant les deux étages représentés schématiquement dans les figures 7A et 7B,

- les figures 10A et 10B sont des vues schématiques de deux étages d'un générateur thermique selon une neuvième variante de réalisation, dans des phases magnétiques opposées,
- les figures 11A et 11B sont des vues schématiques de deux étages d'un générateur thermique selon une dixième variante de réalisation, dans des phases magnétiques opposées, et
- les figures 12A et 12B sont des vues schématiques de deux étages d'un générateur thermique selon une onzième variante de réalisation, dans des phases magnétiques opposées.

Illustrations de l'invention :

Dans les exemples de réalisation illustrés, les éléments ou parties identiques portent les mêmes références numériques.

L'invention concerne un générateur thermique magnétocalorique 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 comportant des éléments magnétocaloriques M_{11}, M_{12}, M_{21}, M_{22}, M_{111}, M_{112}, M_{113}, M_{114}, M_{221}, M_{222}, M_{223}, M_{224}. Dans les variantes de réalisation illustrées, ces éléments magnétocaloriques M_{11}, M_{12}, M_{21}, M_{22}, M_{111}, M_{112}, M_{113}, M_{114}, M_{221}, M_{222}, M_{223}, M_{224} sont répartis en au moins deux étages thermiques. Un fluide caloporteur appelé fluide primaire est déplacé selon un mouvement alterné dans au moins un circuit primaire traversant lesdits éléments magnétocaloriques M_{11}, M_{12}, M_{21}, M_{22}, M_{111}, M_{112}, M_{113}, M_{114}, M_{221}, M_{222}, M_{223}, M_{224}. Ce fluide primaire a pour fonction, d'une part, d'établir et de maintenir un gradient thermique dans les éléments magnétocaloriques desdits étages thermiques entre deux extrémités du générateur thermique 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, à savoir un côté froid F et un côté chaud C et, d'autre part, de permettre d'échanger ou de restituer l'énergie thermique produite dans ledit générateur avec au moins une application extérieure, c'est-à-dire ne faisant pas partie du générateur thermique 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110. Cet échange ou cette restitution se fait par l'intermédiaire d'une zone d'échange qui peut être

matérialisée par un échangeur thermique. Cette zone d'échange permet de réaliser un échange thermique entre le fluide primaire et un fluide secondaire d'un circuit secondaire qui appartient à l'application extérieure.

Bien que cela ne soit par illustré, l'invention prévoit également d'avoir un seul étage d'éléments magnétocaloriques.

De préférence, le fluide primaire et le fluide secondaire sont des liquides. Le fluide secondaire est de préférence déplacé de manière continue par une pompe ou tout autre dispositif analogue pour refroidir, réchauffer ou tempérer une application extérieure. Le fluide primaire destiné à être en contact avec les éléments magnétocaloriques peut être constitué par de l'eau, de l'eau additionnée d'un antigel tel que le glycol, par exemple, un gaz liquéfié pressurisé ou non, ou encore une saumure.

Chaque élément magnétocalorique M_{11}, M_{12}, M_{21}, M_{22}, M_{111}, M_{112}, M_{113}, M_{114}, M_{221}, M_{222}, M_{223}, M_{224} peut être constitué par un ou plusieurs matériaux magnétocaloriques aptes à être traversés par le fluide primaire. Par élément magnétocalorique, il faut comprendre au sens de la présente invention un élément physique comportant du matériau magnétocalorique. Un élément magnétocalorique peut notamment comporter plusieurs types de matériaux magnétocaloriques. A cet effet, lesdits éléments magnétocaloriques peuvent être poreux de sorte que leurs pores forment des passages de fluide débouchants. Ils peuvent également se présenter sous la forme d'un ou de plusieurs blocs pleins dans lesquels des mini ou micro-canaux sont usinés, moulés ou injectés. Ils peuvent aussi être constitués par un assemblage de plaques, éventuellement rainurées, superposées et entre lesquelles le fluide caloporteur peut s'écouler. Ils peuvent enfin se présenter sous la forme de poudre ou de particules de sorte que les interstices forment des passages de fluide. Toute autre forme de réalisation permettant au fluide primaire d'échanger thermiquement avec le matériau constituant un élément magnétocalorique M_{11}, M_{12}, M_{21}, M_{22}, M_{111}, M_{112}, M_{113}, M_{114}, M_{221}, M_{222}, M_{223}, M_{224} peut, bien entendu, convenir. De préférence, les matériaux

magnétocaloriques constituant les éléments magnétocaloriques M_{11}, M_{12}, M_{21}, M_{22}, M_{111}, M_{112}, M_{113}, M_{114}, M_{221}, M_{222}, M_{223}, M_{224} présentent des températures de Curie différentes, allant de la plus faible vers la plus importante du côté froid F vers le côté chaud C.

Dans les variantes de réalisation représentées, le système magnétique, soumettant les éléments magnétocaloriques M_{11}, M_{12}, M_{21}, M_{22}, M_{111}, M_{112}, M_{113}, M_{114}, M_{221}, M_{222}, M_{223}, M_{224} à une variation de champ magnétique, comporte des aimants permanents 2 ou similaires (figure 9), et est déplacé par rapport auxdits éléments magnétocaloriques M_{11}, M_{12}, M_{21}, M_{22}, M_{111}, M_{112}, M_{113}, M_{114}, M_{221}, M_{222}, M_{223}, M_{224} pour créer alternativement dans lesdits éléments magnétocaloriques M_{11}, M_{12}, M_{21}, M_{22}, M_{111}, M_{112}, M_{113}, M_{114}, M_{221}, M_{222}, M_{223}, M_{224}, une phase d'échauffement lorsqu'un champ magnétique y est appliqué ou augmenté, puis une phase de refroidissement, lorsque le champ magnétique est retiré ou diminué. Ce système magnétique peut également se présenter sous la forme d'un électroaimant alimenté séquentiellement ou par tout autre moyen analogue susceptible de créer une variation de champ magnétique. Les inversions de sens de circulation du fluide primaire dans le circuit primaire sont synchronisées avec les phases de magnétisation et démagnétisation des éléments magnétocaloriques M_{11}, M_{12}, M_{21}, M_{22}, M_{111}, M_{112}, M_{113}, M_{114}, M_{221}, M_{222}, M_{223}, M_{224}, de manière à établir un gradient de température le plus élevé possible au sein des éléments magnétocaloriques M_{11}, M_{12}, M_{21}, M_{22}, M_{111}, M_{112}, M_{113}, M_{114}, M_{221}, M_{222}, M_{223}, M_{224}. A cet effet, le fluide primaire traversant un élément magnétocalorique en phase d'échauffement – c'est-à-dire magnétisé – est déplacé en direction du côté chaud C, puis est déplacé vers le côté froid F lorsqu'il traverse un élément magnétocalorique en phase de refroidissement – c'est-à-dire démagnétisé. Le sens de circulation du fluide primaire est représenté par des flèches dans les figures annexées.

La figure 1 représente ainsi un circuit primaire P_{10} reliant deux étages E_1, E_2 d'un générateur thermique magnétocalorique 10 selon une première variante de réalisation de l'invention. Le circuit primaire relie les deux étages E_1, E_2 et comporte deux

actionneurs 3 déplaçant le fluide primaire selon un mouvement alterné de va-et-vient. Le circuit primaire P_{10} comporte ainsi deux branches parallèles de circuit de fluide primaire traversant lesdits éléments magnétocaloriques et reliées entre elles au niveau des côtés chaud C et froid F. Le système magnétique est illustré par des aimants permanents 2. Les deux étages E_1 et E_2 sont reliés par l'intermédiaire des actionneurs 3 qui sont par exemple des pistons déplacés par un profil d'une came de commande mobile. De tels pistons peuvent être rigides ou déformables telle une membrane, par exemple. Bien entendu, tout autre moyen apte à déplacer le fluide primaire peut être utilisé. En outre, le déplacement d'un piston ou similaire peut être commandé par un dispositif de manœuvre pouvant être une came de commande, un dispositif magnétique, un moteur linéaire ou tout autre moyen équivalent apte à déplacer ledit actionneur selon un mouvement de va-et-vient.

En outre, les éléments magnétocaloriques M_{11}, M_{12} de l'étage E_1 sont reliés au niveau du côté froid F du circuit primaire P_{10} et les éléments magnétocaloriques M_{21}, M_{22} de l'étage E_2 sont reliés au niveau du côté chaud C du circuit primaire P_{10}. Selon l'invention, le côté froid F du circuit primaire P_{10} comporte un point de sortie S_1 relié fluidiquement à un point d'injection I_1 par l'intermédiaire d'une conduite de dérivation D_1 dans le côté chaud C dudit circuit primaire P_{10}. Cette conduite de dérivation D_1 comporte un dispositif n'autorisant le passage du fluide que du point de sortie S_1 vers le point d'injection I_1. Un tel dispositif contrôlant le sens de circulation du fluide primaire peut être un clapet anti-retour 4, par exemple. Cette conduite de dérivation D_1 traverse une zone d'échange froide Z_{F1} dans laquelle le fluide primaire réalise un échange thermique avec un fluide secondaire d'un circuit secondaire 6.

Ainsi, le fait de forcer le sens de circulation du fluide dans la conduite de dérivation D_1 permet de s'assurer que seul le fluide sortant du côté froid F d'un élément magnétocalorique dans une phase de démagnétisation peut être dirigé vers cette conduite de dérivation D_1. Il en résulte que la capacité de refroidissement du circuit secondaire est optimisée.

Le fluide primaire issu de la conduite de dérivation D_1 s'est réchauffé après avoir traversé la zone d'échange froide Z_{F1}. Toutefois, il est réinjecté dans le côté chaud C du circuit primaire P_{10}, de sorte que ce réchauffement a un impact limité sur la température du côté froid F du circuit primaire P_{10}, ce qui est particulièrement avantageux dans le cadre de la réfrigération. En outre, cela permet de réaliser un échange important dans la zone d'échange froide Z_{F1}.

Cette variante de réalisation est également transposable dans un mode de réalisation avec un seul étage, dans lequel la conduite de dérivation peut relier un point de sortie du côté froid à un point d'injection du coté chaud du circuit primaire.

Le circuit primaire P_{10} comporte deux zones d'échange chaudes Z_{C1}, Z_{C2} consécutives au niveau de son côté chaud C, et le point d'injection I_1 est situé entre ces deux zones d'échange Z_{C1}, Z_{C2}. Cela est très avantageux car cela permet d'injecter le fluide primaire issu de la conduite de dérivation D_1 dans la portion du circuit primaire P_{10} traversant un élément magnétocalorique en phase de refroidissement. Ainsi, le fluide primaire est réinjecté vers l'élément magnétocalorique M_{22} qui se refroidit dans la phase illustrée à la figure 1A et est réinjecté dans l'élément magnétocalorique M_{21} qui se refroidit dans la phase magnétique suivante ou opposée illustrée dans la figure 1B. Cela permet également de favoriser le mélange des fluides au point d'injection I_1.

Les zones d'échange chaudes Z_{C1}, Z_{C2} permettent soit d'évacuer la chaleur produite par le générateur thermique 10, soit de réchauffer une autre application extérieure, par exemple, au moyen d'un échange thermique avec un second circuit de fluide secondaire 7.

Selon l'invention, la conduite de dérivation D_1 comporte un dispositif de réglage 5 du débit de fluide primaire y circulant. Ce dispositif de réglage 5 permet de déterminer la capacité d'échange thermique entre le circuit primaire P_{10} et le circuit secondaire 6

dans la zone d'échange froide Z_{F1} et d'ajuster les pertes de charge entre le circuit primaire P_{10} et la conduite de dérivation D_1. Cette caractéristique est transposable dans toutes les variantes de réalisation représentées.

En outre, dans l'ensemble des exemples illustrés, les points de sortie sont situés dans le côté froid F du circuit primaire et illustrent de ce fait des configurations de générateurs thermiques magnétocaloriques optimisés pour une exploitation optimale de leur puissance froide. L'invention prévoit également de positionner ces points de sortie dans le côté chaud et de réaliser un échange classique dans le coté froid F. Une telle disposition permet d'exploiter la chaleur produite par le générateur thermique tout en limitant l'impact dû à cet échange thermique sur la température du côté chaud C du circuit primaire, ce qui est particulièrement avantageux dans le cadre du chauffage. Cela permet ainsi de réaliser un échange important dans la zone d'échange reliée à la conduite de dérivation dont le point de sortie est situé dans le côté chaud du circuit primaire. En d'autres termes, l'ensemble des exemples illustrés peut être transposé en intervertissant le côté chaud C et le côté froid F de manière à obtenir une plus grande capacité à réchauffer ou à augmenter la température d'un fluide secondaire d'une application extérieure.

Les figures 2A et 2B représentent une variante de réalisation d'un circuit primaire P_{20} d'un générateur thermique magnétocalorique 20 se distinguant de celui représenté dans les figures 1A et 1B par son côté chaud C. Dans cette variante, le côté chaud C du circuit primaire P_{20} comporte une seule zone d'échange thermique froide Z_{C3} dont l'entrée et la sortie constituent respectivement un point d'injection I_2, I_3. La conduite de dérivation D_2 se scinde en deux portions de conduite et ces portions de conduite comportent chacune un clapet anti-retour. De cette manière, il est également assuré que le fluide primaire issu de la conduite de dérivation D_2 est toujours réinjecté vers l'élément magnétocalorique M_{21}, M_{22} subissant un refroidissement. Une telle configuration avec une seule zone d'échange froide Z_{C3} par rapport à deux zones d'échanges froides Z_{C1} et Z_{C2} dans le générateur thermique 10 décrit précédemment,

permet de simplifier la construction du générateur thermique 20 et d'en réduire de ce fait les coûts de revient.

Les figures 3A et 3B représentent une autre variante de réalisation d'un générateur thermique magnétocalorique 30. Dans cette variante, le générateur comporte deux conduites de dérivation D_3, D_4. La conduite de dérivation D_4 relie un point de sortie S_2 du côté froid F directement relié à un élément magnétocalorique M_{11} de l'étage E_1 côté froid F à un point d'injection I_5 du côté chaud C directement relié à un élément magnétocalorique M_{22} de l'étage E_2 côté chaud C qui est constamment dans le même état de magnétisation que l'autre élément magnétocalorique M_{11}, à savoir en phase de refroidissement dans la figure 3A. De la même manière, la conduite de dérivation D_3 relie un point de sortie S_3 du côté froid F directement relié à un élément magnétocalorique M_{12} de l'étage E_1 côté froid F à un point d'injection I_4 du côté chaud C directement relié à un élément magnétocalorique M_{21} de l'étage E_2 côté chaud C qui est constamment dans le même état de magnétisation que l'autre élément magnétocalorique M_{12}, à savoir en phase d'échauffement dans la figure 3A. Dans une telle configuration et dans l'état de magnétisation illustré à la figure 3A, le fluide primaire est refroidi en traversant l'élément magnétique M_{11} et emprunte la conduite de dérivation D_4 traversant la zone d'échange froide Z_{F2} pour être réinjecté par l'intermédiaire du point d'injection I_5 dans l'élément magnétocalorique M_{22} de l'étage E_2 côté chaud C. Le fait de réinjecter, de manière unidirectionnelle, dans le côté chaud C, du fluide primaire issu du côté froid F qui s'est réchauffé dans la zone d'échange thermique froide Z_{F2} permet, dans le cas où ce fluide réinjecté présente une température un peu plus faible ou froide que celle du fluide primaire dans le côté chaud C, de réaliser à la fois un refroidissement de l'élément magnétocalorique M_{22} par conduction / transfert thermique avec ce fluide réinjecté et un refroidissement par l'effet magnétocalorique dû à la démagnétisation. Cela peut être équivalent à un pré-refroidissement de l'élément magnétocalorique M_{22}. Cela peut ainsi avoir pour effet de décaler vers le bas le gradient thermique dans le circuit primaire P_{30}, entre le côté chaud C et le côté froid F, et donc d'augmenter la capacité de réfrigération du générateur

thermique 30. Dans l'état de magnétisation illustré à la figure 3A, il n'y a pas de déplacement de fluide dans la seconde conduite de dérivation D_3. Chaque branche ou conduite de dérivation est indépendante et réglable séparément en terme de débit.

A l'inverse, dans la phase de magnétisation opposée illustrée à la figure 3B, il n'y a pas de déplacement de fluide primaire dans la première conduite de dérivation D_4 alors que la fluide primaire se déplace dans la seconde conduite de dérivation D_3 traversant la zone d'échange froide Z_{F3} pour être réinjecté par l'intermédiaire du point d'injection I_4 dans l'élément magnétocalorique M_{21} de l'étage E_2 côté chaud C. L'échange thermique du côté chaud C est réalisé de manière conventionnelle. Les extrémités des deux éléments magnétocaloriques de l'étage E2 côté chaud C sont séparées par une zone d'échange thermique Z_{C4} destinée à évacuer la chaleur produite par le générateur thermique 30 ou à réchauffer une autre application extérieure, par exemple, au moyen d'un échange thermique avec un second circuit 7 de fluide secondaire.

Les figures 4A et 4B représentent une variante de réalisation d'un générateur thermique magnétocalorique 40 se démarquant du générateur thermique 30 des figures précédentes par le fait que les points d'injection I_6 et I_7 des conduites de dérivation D_5 et D_6 sont situés entre les deux étages E_1, E_2. Cet agencement est particulièrement avantageux dans les cas où la température du fluide primaire réinjecté dans le circuit primaire P_{40} correspond ou est susceptible de correspondre à celle du fluide primaire au point d'injection I_6, I_7 situé entre les deux étages E_1, E_2.

Les figures 5A et 5B représentent une variante de réalisation d'un générateur thermique magnétocalorique 50 se démarquant du générateur thermique 40 des figures 4A et 4B précédentes par le fait, d'une part, que les étages comportent plus d'éléments magnétocaloriques M_{111}, M_{112}, M_{113}, M_{114}, M_{221}, M_{222}, M_{223}, M_{224} et, d'autre part, que les points d'injection I_8 et I_9 des conduites de dérivation D_7 et D_8 sont situés entre les éléments magnétocaloriques consécutifs M_{111}, M_{113} et M_{112}, M_{114} de l'étage E_{10} situé côté froid F. Cet agencement est particulièrement avantageux dans les cas où la

température du fluide primaire sortant d'une zone d'échange froide Z_{F6}, Z_{F7} est proche de la température du fluide primaire circulant entre les matériaux consécutifs M_{111}, M_{113} et M_{112}, M_{114} concernés. En effet, le fait de réinjecter dans le circuit primaire P_{50} du fluide primaire qui a la même température que le fluide circulant dans le circuit primaire ne perturbe pas le gradient thermique établi dans le circuit primaire. Cela permet, d'exploiter la puissance thermique du générateur thermique 50 par l'intermédiaire des zones d'échange froides Z_{F6}, Z_{F7} sans avoir d'impact négatif sur son rendement.

En outre, le fait d'implanter plus d'éléments magnétocaloriques dans le générateur thermique 50 permet d'augmenter la puissance thermique et/ou le gradient thermique de ce dernier.

Le générateur thermique magnétocalorique 60 représenté dans les figures 6A et 6B est une variante de réalisation du générateur thermique 40 des figures 4A et 4B et s'en distingue par le fait qu'il comporte une seule conduite de dérivation D_9 avec une zone d'échange Z_{F8}, cette conduite se divisant en deux portions après la zone d'échange froide Z_{F8} pour réinjecter le fluide primaire aux points d'injection I_6 et I_7. Cette réinjection est la même que celle décrite en référence aux figures 4A et 4B. Elle présente l'avantage supplémentaire de réduire le volume du générateur thermique 60 en nécessitant moins de conduite pour la circulation du fluide primaire.

Le générateur thermique magnétocalorique 70 représenté dans les figures 7A, 7B et 9 est une variante de réalisation du générateur thermique 60 des figures 6A et 6B précédentes et s'en distingue par le fait que les étages E_{10} et E_{20} comportent plus d'éléments magnétocaloriques M_{111}, M_{112}, M_{113}, M_{114}, M_{221}, M_{222}, M_{223}, M_{224}, afin d'augmenter la puissance thermique et/ou le gradient thermique de ce dernier et donc d'augmenter sa capacité à refroidir le fluide secondaire d'un circuit secondaire par l'intermédiaire d'une zone d'échange froide Z_{F9}. Le circuit primaire P_{70} comporte une seule conduite de dérivation D_{10} avec une zone d'échange Z_{F9}, cette conduite se

divisant en deux portions après la zone d'échange froide Z_{F9} pour réinjecter le fluide primaire aux points d'injection I_{10} et I_{11} entre les deux étages E_{10}, E_{20}. La figure 9 est une vue en perspective de ce générateur thermique 70 comportant trois circuits primaires, dans l'état de magnétisation représenté à la figure 7B. Tous les composants des trois circuits primaires ne sont pas visibles sur cette figure. Ont été identifiés notamment dans cette figure 9, les trois zones d'échange thermique froid Z_{F9}, Z'_{F9} et Z''_{F9} des trois circuits primaires du générateur thermique 70, ainsi qu'une zone d'échange thermique chaude Z'_{C5} d'un desdits circuits primaires. Le générateur thermique 70 comporte un arrangement magnétique avec trois rotors magnétiques R_1, R_2, R_3 qui, par leur rotation autour de l'axe longitudinal du générateur thermique 70, soumettent les éléments magnétocaloriques à une variation de champ magnétique. Les rotors magnétiques R_1, R_2, R_3 comportent chacun une armature sur laquelle sont montés des aimants permanents 2. Les éléments magnétocaloriques sont montés dans deux supports fixes S_{UP1}, $S_{UP2.}$ Le fluide primaire est déplacé par des actionneurs réalisés par des pistons 3 actionnés par une came de commande C_{70} dont le profil de came est réalisé, installé, usiné ou maté sur le rotor R_2.

Le générateur thermique magnétocalorique 80 représenté dans les figures 8A et 8B est une variante de réalisation du générateur thermique 50 des figures 5A et 5B et s'en distingue par le fait qu'il comporte une seule conduite de dérivation D_{11} avec une zone d'échange $Z_{F10,}$ cette conduite se divisant en deux portions après la zone d'échange froide Z_{F10} pour réinjecter le fluide primaire aux points d'injection I_8 et I_9. Cette réinjection est la même que celle décrite en référence aux figures 5A et 5B. Elle présente l'avantage supplémentaire de réduire le volume du générateur thermique 80 en nécessitant moins de conduite pour la circulation du fluide primaire.

Le générateur thermique magnétocalorique 90 représenté dans les figures 9A et 9B comporte deux conduites de dérivation D_{12} et D_{13} présentant une portion commune de conduite de dérivation D_{12}'. Le générateur thermique 90 comporte deux étages E_1 et E_2 reliés par des moyens de déplacement du fluide primaire ou actionneurs 3. Un

premier étage E_1 est positionné au niveau du coté froid F du générateur thermique 90 et l'autre étage E2 est positionné au niveau du coté chaud C.

La première conduite de dérivation D_{12} relie le point de sortie S_7 à l'extrémité froide F du générateur thermique 90 au point d'injection I_{12} situé dans le circuit primaire P_{90}, au niveau de l'extrémité chaude de l'étage E_1, entre l'actionneur 3 et l'extrémité chaude de l'élément magnétocalorique M_{11}. La deuxième conduite de dérivation D_{13} relie le point de sortie S_7 à l'extrémité froide F du générateur thermique 90 à l'autre point du circuit primaire disposé du côté chaud du premier étage E_1, situé entre un actionneur 3 et l'extrémité chaude de l'élément magnétocalorique M_{12}. Les conduites de dérivation D_{12} et D_{13} comportent une portion de conduite D_{12}' commune dans laquelle est intégrée une zone d'échange froide Z_{F11} destinée à réaliser l'échange thermique entre le fluide primaire et un fluide secondaire du circuit secondaire 61. De plus, les conduites de dérivation D_{12} et D_{13} comportent chacune un dispositif contrôlant le sens de circulation du fluide primaire.

Ainsi, la portion commune de conduite de dérivation D_{12}' qui comporte un échangeur thermique apte à réaliser un échange thermique avec le fluide caloporteur secondaire du circuit secondaire 61 reçoit le fluide primaire sortant du côté froid des éléments magnétocaloriques M_{11} et M_{12} de l'étage E_1 situé du côté froid F lorsqu'ils sont en phase de démagnétisation. De cette manière, cette portion commune de conduite de dérivation D_{12}' est toujours traversée par le fluide primaire lorsqu'il a sa température la plus froide du cycle. Il en résulte que l'échange thermique dans la zone d'échange Z_{F11} est optimisé. En outre, le fluide primaire qui a subi une élévation de sa température due à l'échange thermique avec le circuit secondaire à refroidir, est ensuite réinjecté dans le circuit primaire, entre les étages thermiques E_1 et E_2, à un point I_{12}, I_{13} du circuit primaire au niveau duquel la température n'est pas la plus faible. Il est notamment avantageux de régler le débit de fluide pouvant circuler vers les conduites de dérivation D_{12} et D_{13} afin de réguler la puissance thermique pouvant être échangée entre le circuit primaire et le circuit secondaire dans le zone d'échange Z_{F11}. Ainsi, plus le débit

volumique de fluide primaire traversant cette zone d'échange Z_{F11} est important et plus l'échange sera important. De manière avantageuse, grâce au positionnement de la zone d'échange Z_{F11} dans une conduite de dérivation, l'élévation de la température du fluide primaire due à l'échange thermique dans la zone d'échange Z_{F11} a très peu, voire pas d'impact sur le fonctionnement du générateur thermique 90, en particulier sur sa capacité à maintenir un gradient thermique avec un fort rendement. Ceci est rendu possible par la réinjection du fluide primaire échauffé après un échange thermique dans une zone du circuit primaire P_{90} dans laquelle la température de fluide primaire n'est pas la plus faible.

Le générateur thermique 90 représenté dans les figures 10A et 10B est particulièrement avantageux pour refroidir ou tempérer en continu un fluide secondaire circulant de manière continue dans le circuit secondaire, à travers la zone d'échange Z_{F11}. En effet, le positionnement de la zone d'échange thermique Z_{F11} intégrée en série dans les conduites de dérivation D_{12}, D_{13} dans lesquelles le fluide primaire circule unidirectionnellement permet de réaliser un échange à flux croisé dans la zone d'échange thermique Z_{F11}, ce qui favorise l'échange thermique.

Le générateur thermique magnétocalorique 100 représenté dans les figures 11A et 11B présente les mêmes avantages que ceux décrits en regard du générateur thermique 90. Il s'en distingue par le déplacement du fluide primaire dans un circuit primaire P_{100} et par les cycles magnétiques des éléments magnétocaloriques M_{11}, M_{12}, M_{21} et M_{22}. En effet, dans le circuit primaire P_{100} représenté, les éléments magnétocaloriques sont reliés en série et un moyen de déplacement du fluide primaire ou actionneur 3 assure le déplacement alternatif dans deux sens opposés du fluide primaire. Le fluide primaire traverse les éléments magnétocaloriques M_{11}, M_{12}, M_{21} et M_{22} en direction du côté froid F du générateur thermique 100 lorsqu'ils sont dans un état démagnétisé et il traverse les éléments magnétocaloriques M_{11}, M_{12}, M_{21} et M_{22} en direction du côté chaud C lorsqu'ils sont dans un état magnétisé. Les points d'injection I_{12} et I_{13} des

conduites de dérivation sont positionnés entre des éléments magnétocaloriques M_{11}, M_{21} et M_{12}, M_{22} qui sont, dans cette variante, dans un même état de magnétisation.

Le générateur thermique magnétocalorique 110 représenté dans les figures 12A et 12B présente les mêmes avantages que ceux décrits en regard du générateur thermique 90. Il s'en distingue par le positionnement des points d'injection I_{14} et I_{15} des conduites de dérivation D_{14} et D_{15}. En effet, chaque point d'injection I_{14} et I_{15} est positionné entre un élément magnétocalorique M_{21}, M_{22} de l'étage E_2 chaud et la zone d'échange chaude Z_{C6}. Chaque point d'injection I_{14} et I_{15} permet ainsi d'injecter du fluide primaire dont la température a été élevée dans la zone d'échange froide Z_{F11} dans le circuit primaire, en sortie d'un élément magnétocalorique M_{21} ou M_{22} duquel le fluide primaire ayant subi un échauffement sort et se dirige vers la zone d'échange chaude Z_{C6}. Ici à nouveau, l'impact de l'échange thermique sur la température du fluide primaire est réduite, ce qui permet de réaliser un échange thermique dans la zone d'échange froide Z_{F11} sans diminuer le rendement du générateur thermique 110.

Bien entendu, le générateur thermique magnétocalorique 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 selon l'invention peut comprendre plusieurs circuits primaires. En outre, ces circuits primaires peuvent comporter un nombre d'éléments magnétocaloriques différent de ce qui est représenté dans les figures annexées.

En outre, la forme des éléments magnétocaloriques M_{11}, M_{12}, M_{21}, M_{22}, M_{111}, M_{112}, M_{113}, M_{114}, M_{221}, M_{222}, M_{223} et M_{224} n'est pas limitée à une pièce rectangulaire. Une autre forme peut être envisagée. De plus, chaque élément magnétocalorique peut être constitué par plusieurs pièces accolées ou reliées entre elles fluidiquement en série.

Possibilités d'application industrielle :

Il ressort clairement de cette description que l'invention permet d'atteindre les buts fixés, à savoir permettre de réaliser un échange thermique important soit au niveau du

côté froid F soit au niveau du côté chaud C du générateur thermique magnétocalorique 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 sans perturber le fonctionnement de ce dernier et tout en optimisant son rendement.

Le générateur thermique ainsi que le procédé selon l'invention peuvent trouver une application dans tous les domaines thermiques, tel que par exemple le domaine du chauffage, de la climatisation, du tempérage du refroidissement ou autres, sans y être toutefois limité et ce, à des coûts compétitifs et avec un faible encombrement.

La présente invention n'est pas limitée aux exemples de réalisation décrits mais s'étend à toute modification et variante évidentes pour un homme du métier tout en restant dans l'étendue de la protection définie dans les revendications annexées.

Revendications

1. Générateur thermique magnétocalorique (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80) comportant au moins un circuit primaire (P_{10}, P_{20}, P_{30}, P_{40}, P_{50}, P_{60}, P_{70}) reliant fluidiquement des éléments magnétocaloriques (M_{11}, M_{12}, M_{21}, M_{22}, M_{111}, M_{112}, M_{113}, M_{114}, M_{221}, M_{222}, M_{223}, M_{224}) par un fluide caloporteur appelé fluide primaire circulant selon un mouvement alternatif de va-et-vient, lesdits éléments magnétocaloriques (M_{11}, M_{12}, M_{21}, M_{22}, M_{111}, M_{112}, M_{113}, M_{114}, M_{221}, M_{222}, M_{223}, M_{224}) étant soumis au champ magnétique variable d'un système magnétique (2) créant alternativement, dans chaque élément magnétocalorique (M_{11}, M_{12}, M_{21}, M_{22}, M_{111}, M_{112}, M_{113}, M_{114}, M_{221}, M_{222}, M_{223}, M_{224}), une phase magnétique d'échauffement et une phase magnétique de refroidissement, générateur dans lequel le circuit primaire comporte un côté froid (F) et un côté chaud (C) au niveau desquels des éléments magnétocaloriques (M_{11}, M_{12}; M_{111},M_{112} et M_{21}, M_{22}, M_{223}, M_{224}) sont reliés fluidiquement entre eux,
générateur thermique caractérisé en ce qu'au moins un desdits côtés chaud (C) et froid (F) du circuit primaire comporte au moins un point de sortie (S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6) relié à un autre point du circuit primaire, appelé point d'injection (I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7, I_8, I_9, I_{10}, I_{11}) par l'intermédiaire d'au moins une conduite de dérivation (D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6, D_7, D_8, D_9, D_{10}, D_{11}) autorisant le déplacement de fluide primaire uniquement du point de sortie (S_1, S_2,S_3, S_4, S_5, S_6) vers le point d'injection (I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7, I_8, I_9, I_{10}, I_{11}).

2. Générateur thermique, selon la revendication 1, caractérisé en ce que les éléments magnétocaloriques (M_{11}, M_{12}, M_{21}, M_{22}, M_{111}, M_{112}, M_{113}, M_{114}, M_{221}, M_{222}, M_{223}, M_{224}) sont répartis dans au moins deux étages (E_1, E_2, E_{10}, E_{20}), et en ce que les éléments magnétocaloriques (M_{11}, M_{12}; M_{111},M_{112}) d'un desdits étages (E_1, E_{10}) sont reliés fluidiquement entre eux au niveau du côté froid (F) et les éléments magnétocaloriques (M_{21}, M_{22}, M_{223}, M_{224}) d'un autre desdits étages (E_2, E_{20}) sont reliés fluidiquement entre eux au niveau du côté chaud (C).

3. Générateur thermique, selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la conduite de dérivation (D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6, D_7, D_8, D_9, D_{10}, D_{11}) est reliée thermiquement à un circuit secondaire (6) par au moins une zone d'échange thermique (Z_{F1}, Z_{F2}, Z_{F3}, Z_{F4}, Z_{F5}, Z_{F6}, Z_{F7}, Z_{F8}, Z_{F9}, Z_{F10}, Z_{F11}).

4. Générateur thermique, selon la revendication 3, caractérisé en ce que la zone d'échange thermique (Z_{F1}, Z_{F2}, Z_{F3}, Z_{F4}, Z_{F5}, Z_{F6}, Z_{F7}, Z_{F8}, Z_{F9}, Z_{F10}, Z_{F11}) est agencée pour réaliser un déplacement à contre-courant entre le fluide primaire et un fluide secondaire dudit circuit secondaire (6).

5. Générateur thermique, selon la revendication 3, caractérisé en ce que la zone d'échange thermique (Z_{F1}, Z_{F2}, Z_{F3}, Z_{F4}, Z_{F5}, Z_{F6}, Z_{F7}, Z_{F8}, Z_{F9}, Z_{F10}) est agencée pour réaliser un déplacement à co-courant entre le fluide primaire et un fluide secondaire dudit circuit secondaire (6).

6. Générateur thermique, selon la revendication 3, caractérisé en ce que la zone d'échange thermique (Z_{F1}, Z_{F2}, Z_{F3}, Z_{F4}, Z_{F5}, Z_{F6}, Z_{F7}, Z_{F8}, Z_{F9}, Z_{F10}) est agencée pour réaliser un déplacement à courant croisé entre le fluide primaire et un fluide secondaire dudit circuit secondaire (6).

7. Générateur thermique, selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la conduite de dérivation (D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6, D_7, D_8, D_9, D_{10}, D_{11}) comporte un dispositif de réglage (5) du débit de fluide primaire y circulant.

8. Générateur thermique, selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit au moins un point de sortie (S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6) est situé dans le côté froid (F) du circuit primaire.

9. Générateur thermique, selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que ledit au moins un point de sortie est située dans le côté chaud (C) du circuit primaire.

10. Générateur thermique, selon la revendication 8 caractérisé en ce que le point d'injection (I_1, I_2, I_3, I_4, I_5) est situé dans le côté chaud (C) du circuit primaire.

11. Générateur thermique, selon la revendication 9, caractérisé en ce que le point d'injection est situé dans le côté froid (F) du circuit primaire.

12. Générateur thermique, selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que le point d'injection (I_6, I_7, I_{10}, I_{11}, I_{12}, I_{13}) est situé entre deux étages (E_1, E_2 ; E_{10}, E_{20}) d'éléments magnétocaloriques (M_{11}, M_{12}, M_{21}, M_{22}, M_{111}, M_{112}, M_{113}, M_{114}, M_{221}, M_{222}, M_{223}, M_{224}).

13. Générateur thermique, selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que le point d'injection (I_8, I_9) est situé entre des éléments magnétocaloriques (M_{111}, M_{112}, M_{113}, M_{114}, M_{221}, M_{222}, M_{223}, M_{224}) consécutifs de chaque étage (E_{10}, E_{20}).

14. Procédé de refroidissement d'un fluide dit fluide secondaire par un générateur thermique magnétocalorique selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il consiste à relier thermiquement le circuit secondaire (6) dans lequel circule le fluide secondaire par au moins une zone d'échange thermique (Z_{F1}, Z_{F2}, Z_{F3}, Z_{F4}, Z_{F5}, Z_{F6}, Z_{F7}, Z_{F8}, Z_{F9}, Z_{F10}, Z_{F11}) à une conduite de dérivation (D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6, D_7, D_8, D_9, D_{10}, D_{11}) dudit générateur thermique magnétocalorique et à faire circuler en continu ledit fluide secondaire dans ledit circuit secondaire.

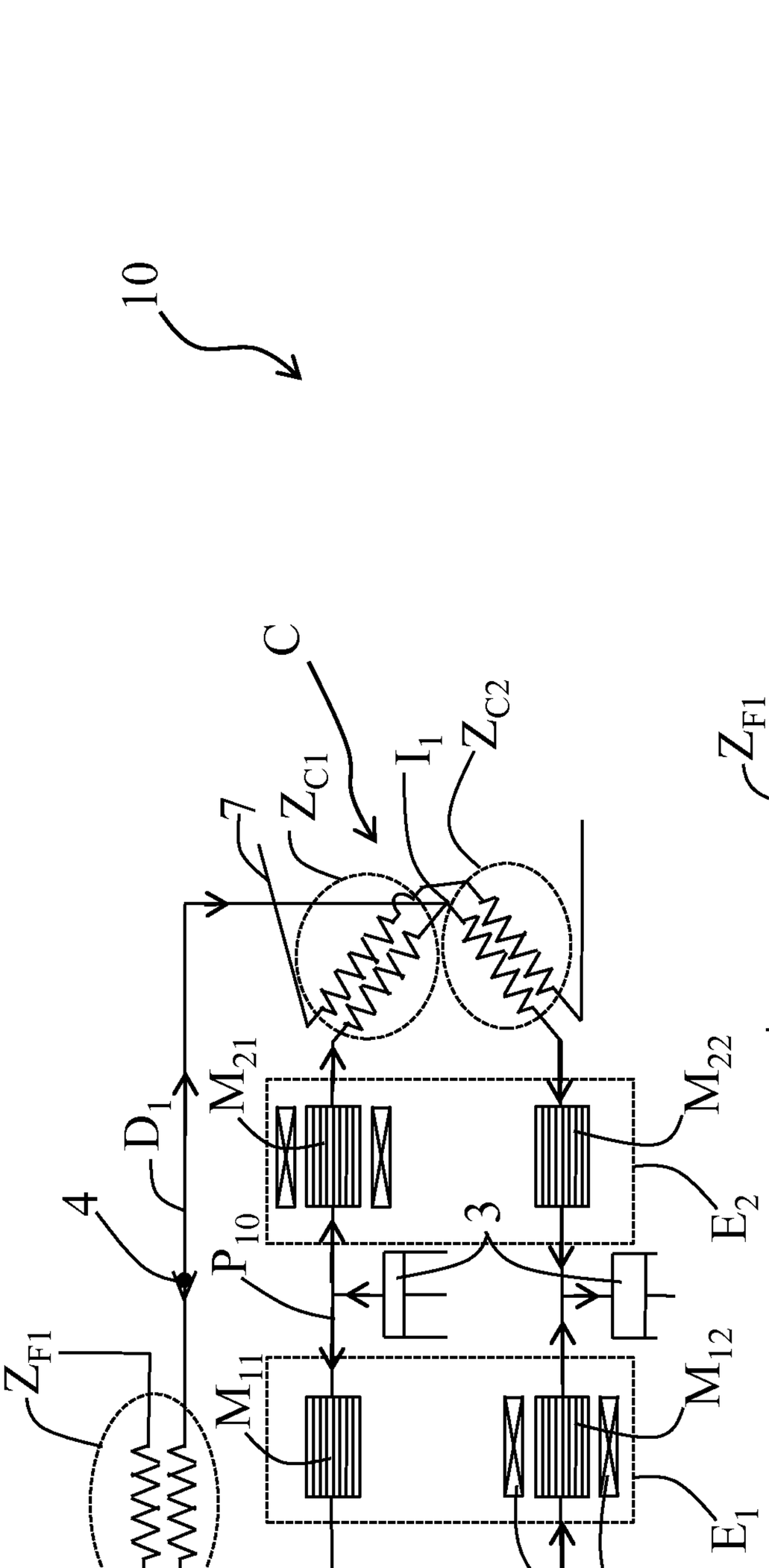

10
C
Z_{C2}
I_1
Z_{C1}
7
D_1
M_{21}
M_{22}
4
P_{10}
3
E_2
Z_{F1}
M_{11}
M_{12}
E_1
6
5
F
S_1
2

Fig. 1A

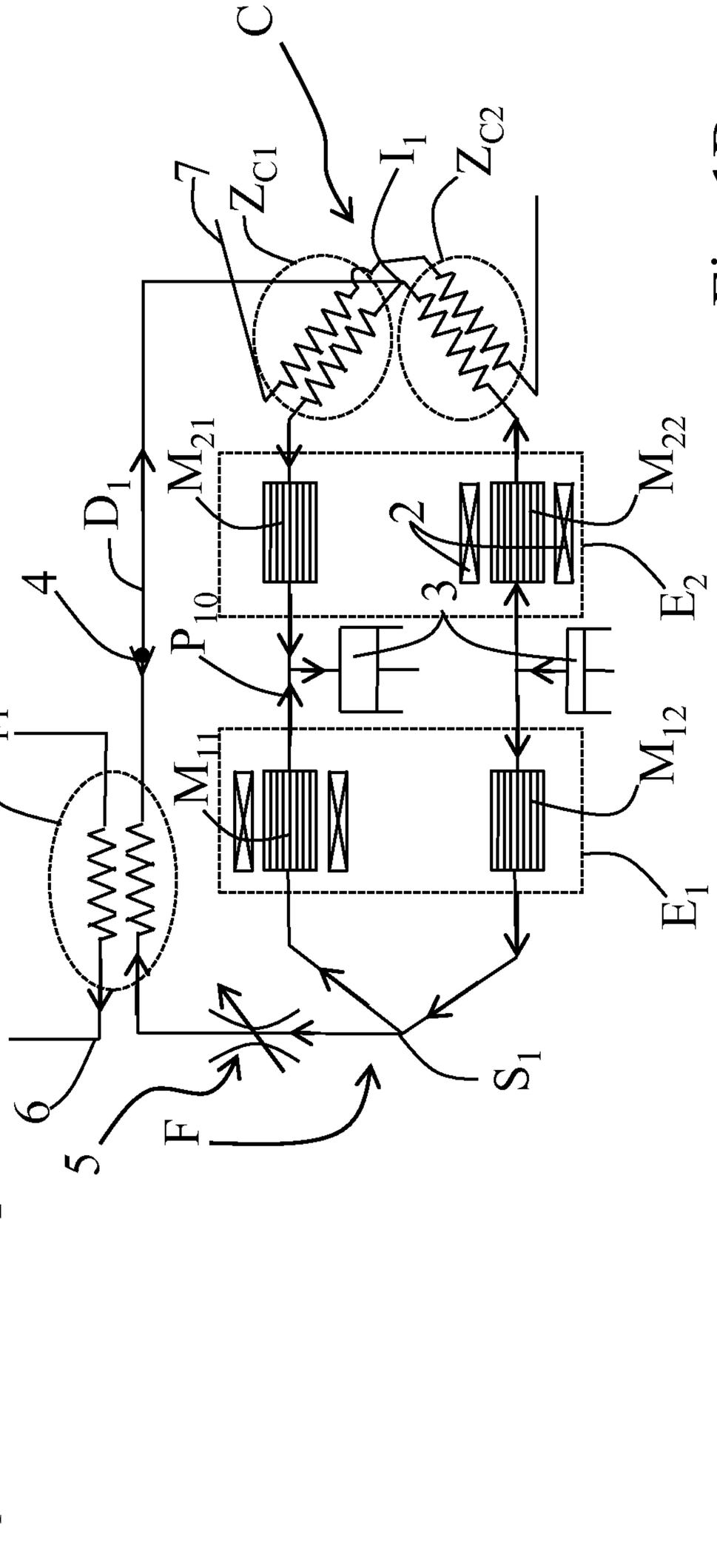

C
Z_{C2}
I_1
Z_{C1}
7
D_1
M_{21}
M_{22}
4
P_{10}
3
E_2
Z_{F1}
M_{11}
M_{12}
E_1
6
5
F
S_1
2

Fig. 1B

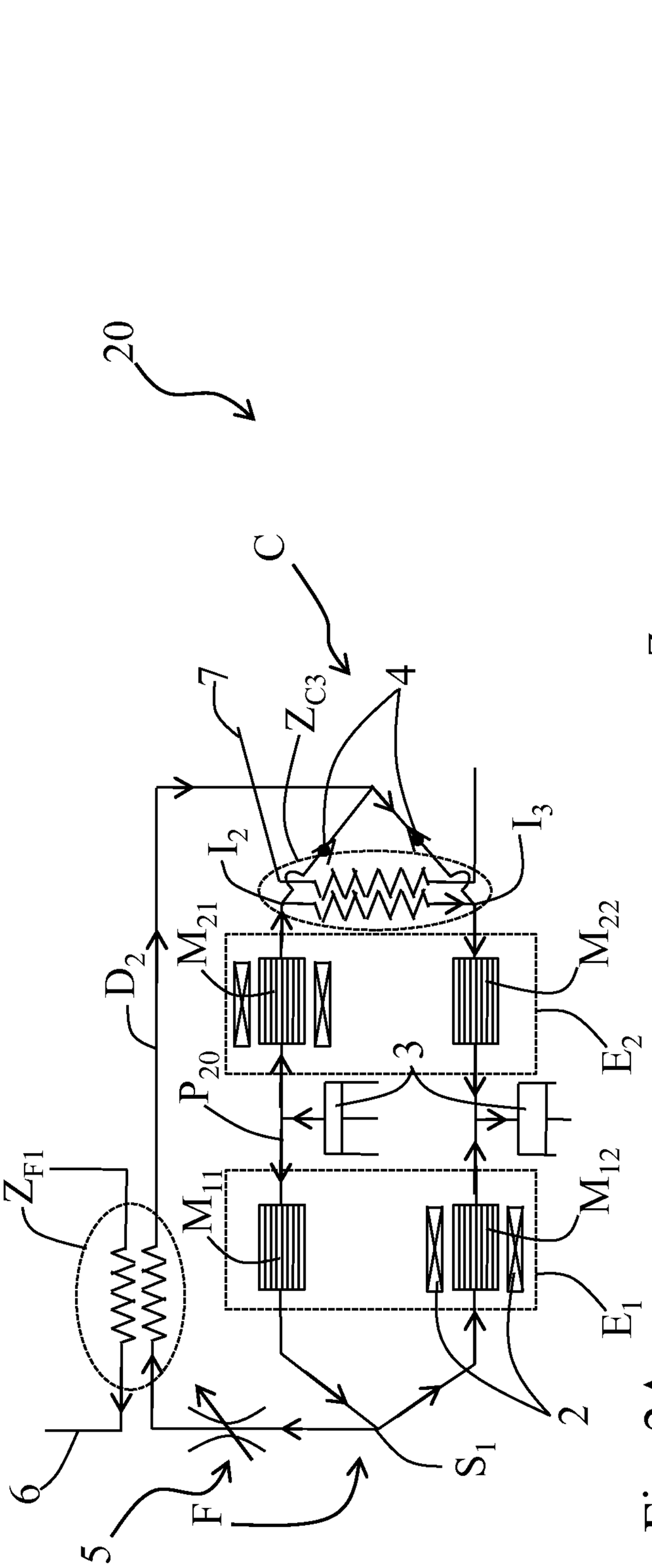

20
C
7
Z_{C3}
4
I_2
I_3
D_2
M_{21}
M_{22}
P_{20}
3
E_2
Z_{F1}
M_{11}
M_{12}
E_1
2
6
5
F
S_1

Fig. 2A

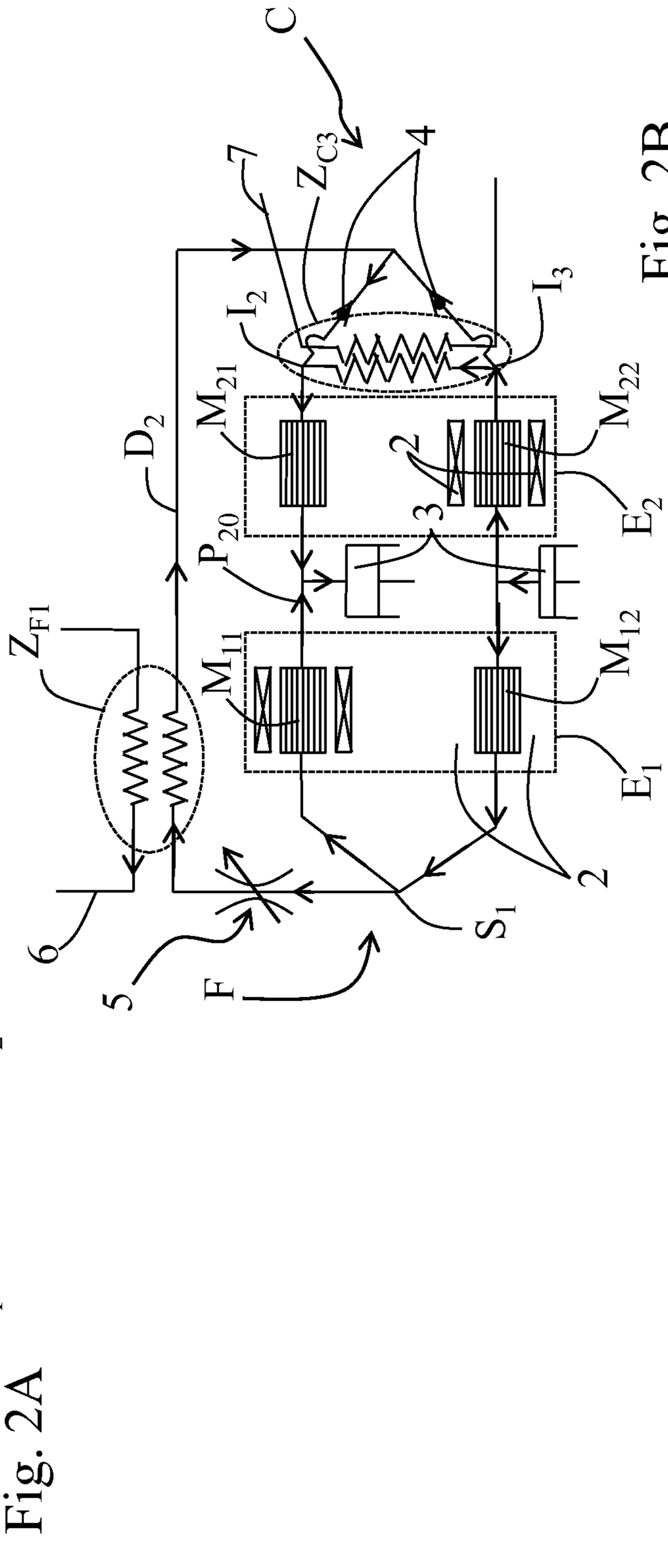

C
7
Z_{C3}
4
I_2
I_3
D_2
M_{21}
M_{22}
2
P_{20}
3
E_2
Z_{F1}
M_{11}
M_{12}
E_1
2
6
5
F
S_1

Fig. 2B

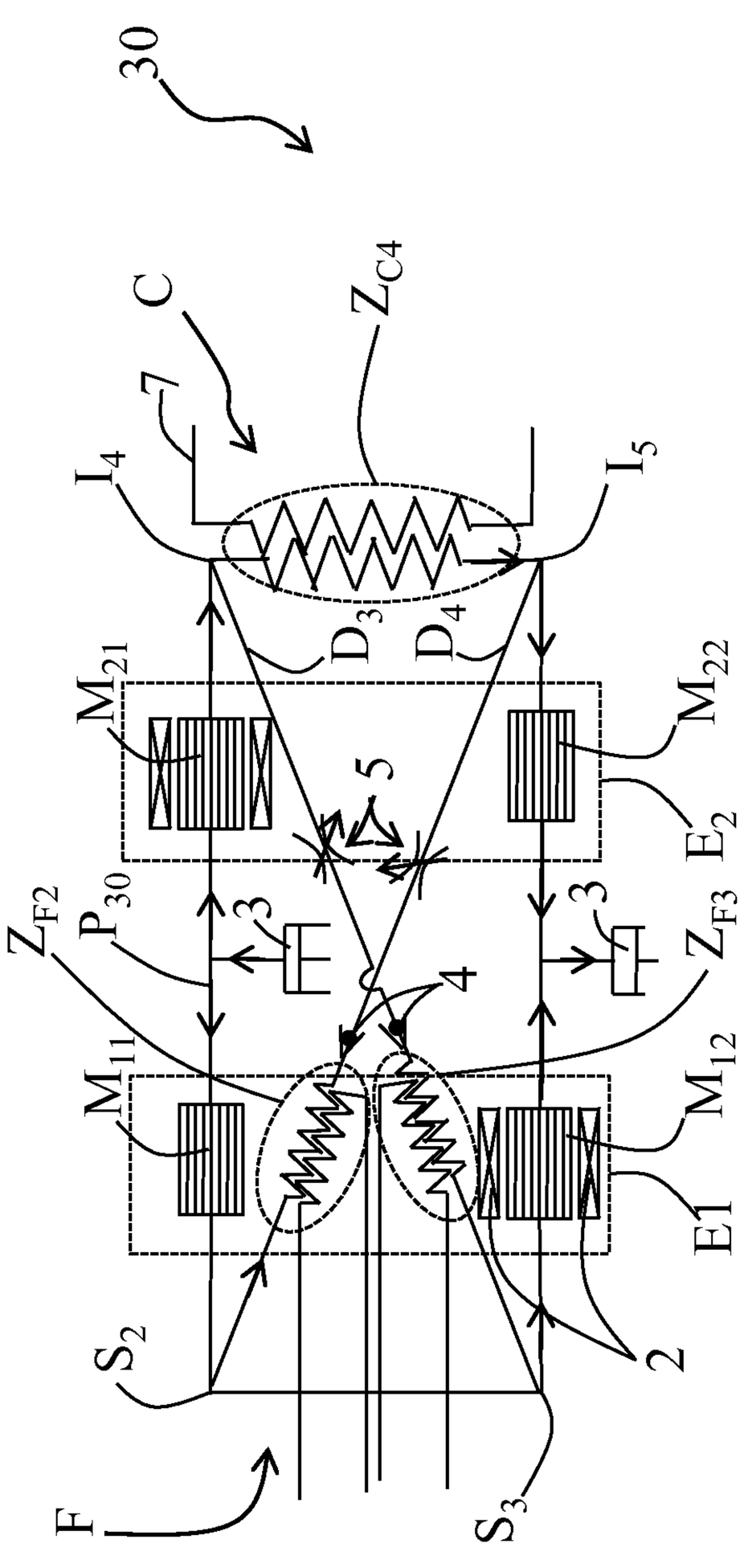

30
C
7
Z_{C4}
I_4
I_5
D_3
D_4
M_{21}
M_{22}
5
2
E_2
P_{30}
3
Z_{F2}
Z_{F3}
4
M_{11}
M_{12}
E1
S_2
S_3
F

Fig. 3A

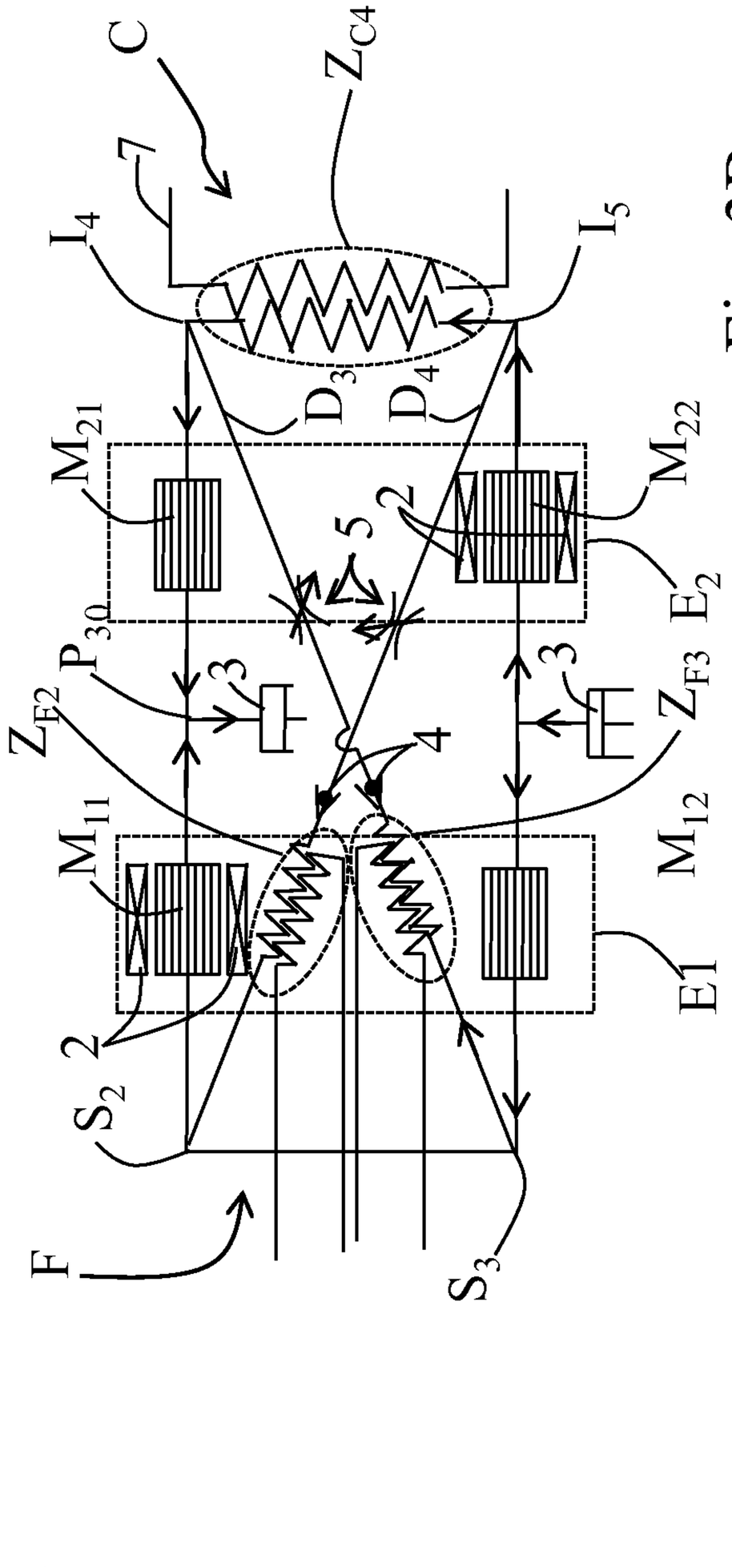

C
7
Z_{C4}
I_4
I_5
D_3
D_4
M_{21}
M_{22}
5
2
E_2
P_{30}
3
Z_{F2}
Z_{F3}
4
M_{11}
M_{12}
E1
S_2
S_3
F

Fig. 3B

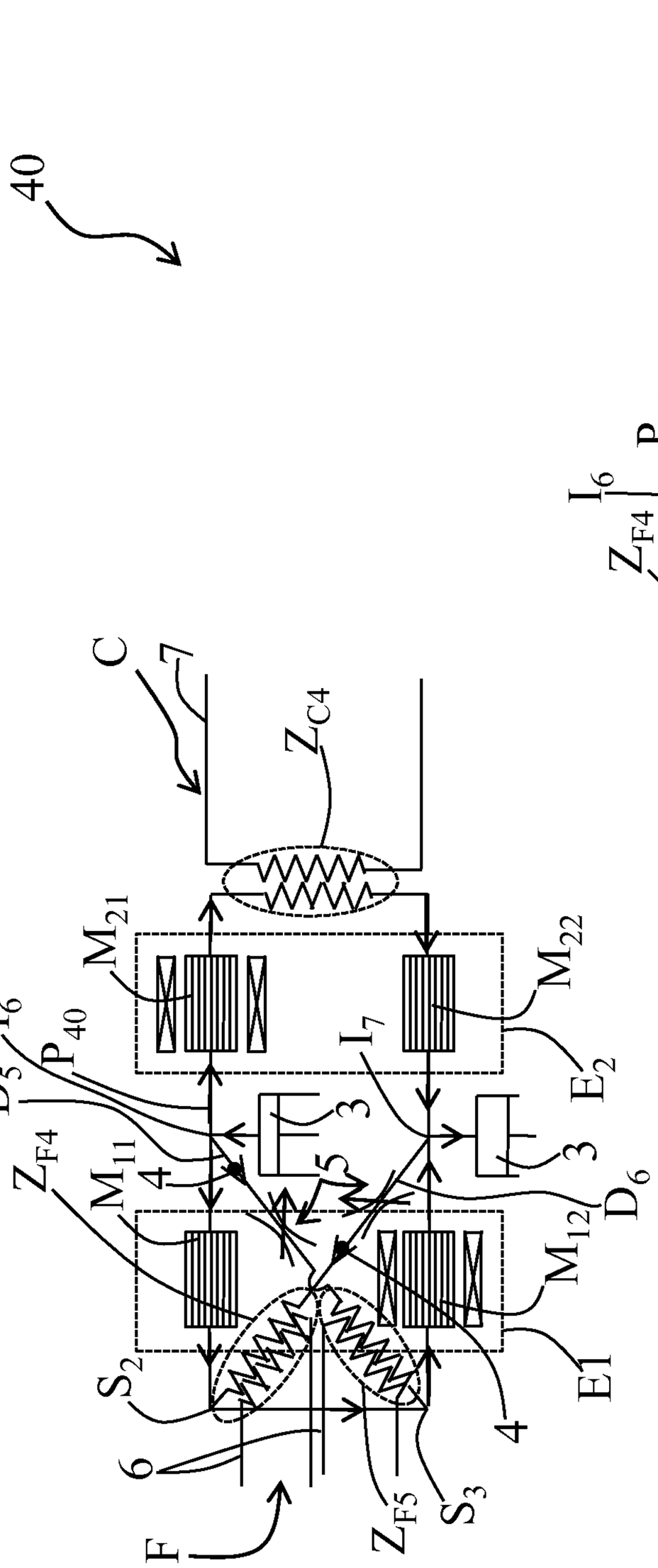

40
C
7
Z_{C4}
M_{21}
M_{22}
2
P_{40}
I_6
I_7
E_2
3
D_5
D_6
Z_{F4}
M_{11}
M_{12}
4
5
S_2
S_3
E1
6
F
Z_{F5}

Fig. 4A

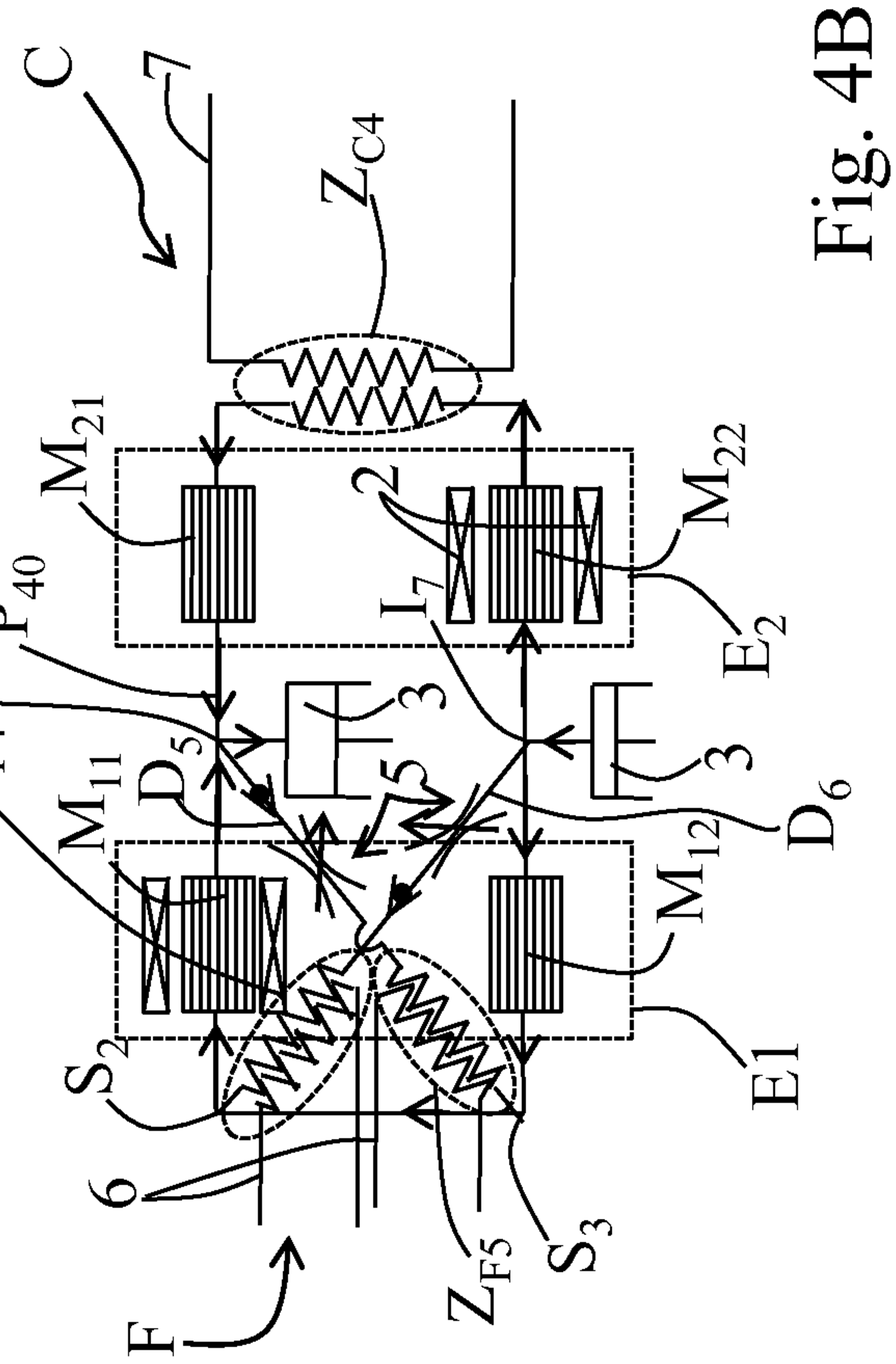

C
7
Z_{C4}
M_{21}
M_{22}
2
P_{40}
I_6
I_7
E_2
3
D_5
D_6
Z_{F4}
M_{11}
M_{12}
5
S_2
S_3
E1
6
F
Z_{F5}

Fig. 4B

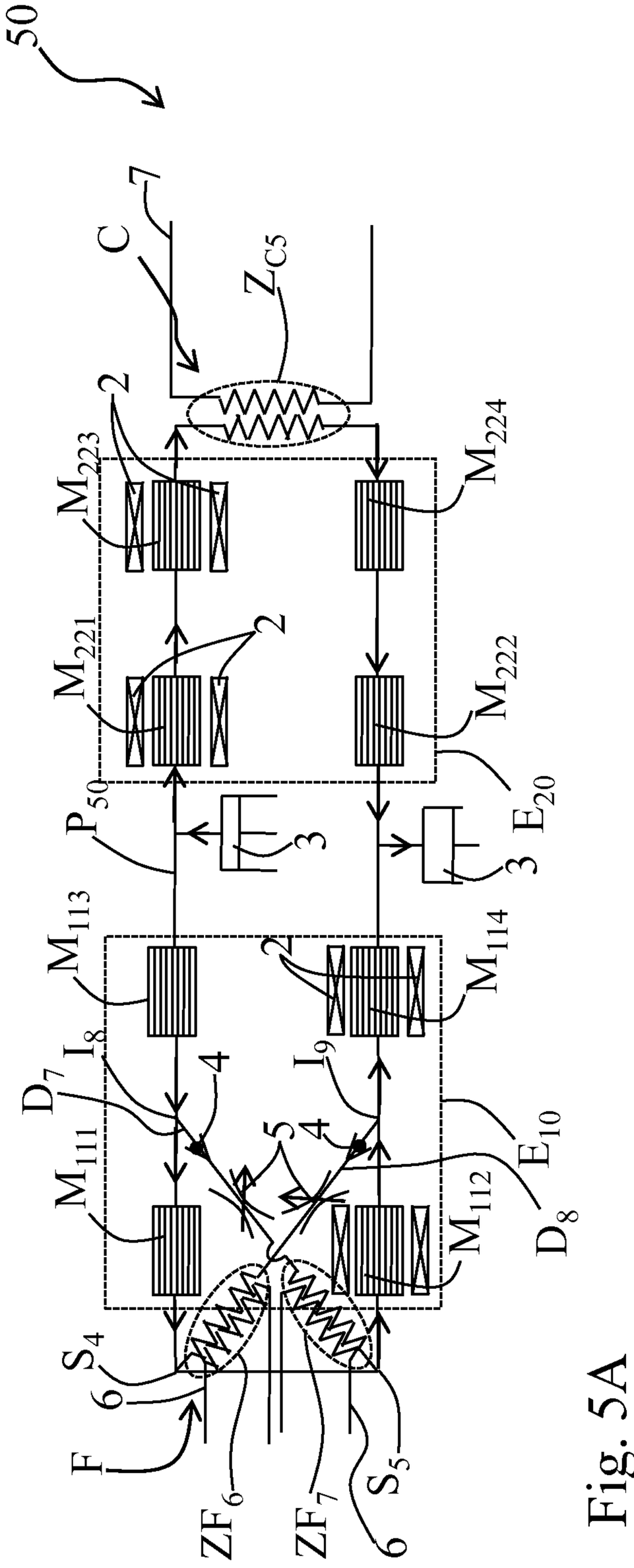

50
7
C
Z_{C5}
2
M_{223}
M_{224}
M_{221}
M_{222}
P_{50}
3
E_{20}
M_{113}
M_{114}
I_8
I_9
D_7
4
5
M_{111}
M_{112}
E_{10}
D_8
S_4
6
F
ZF_6
ZF_7
S_5

Fig. 5A

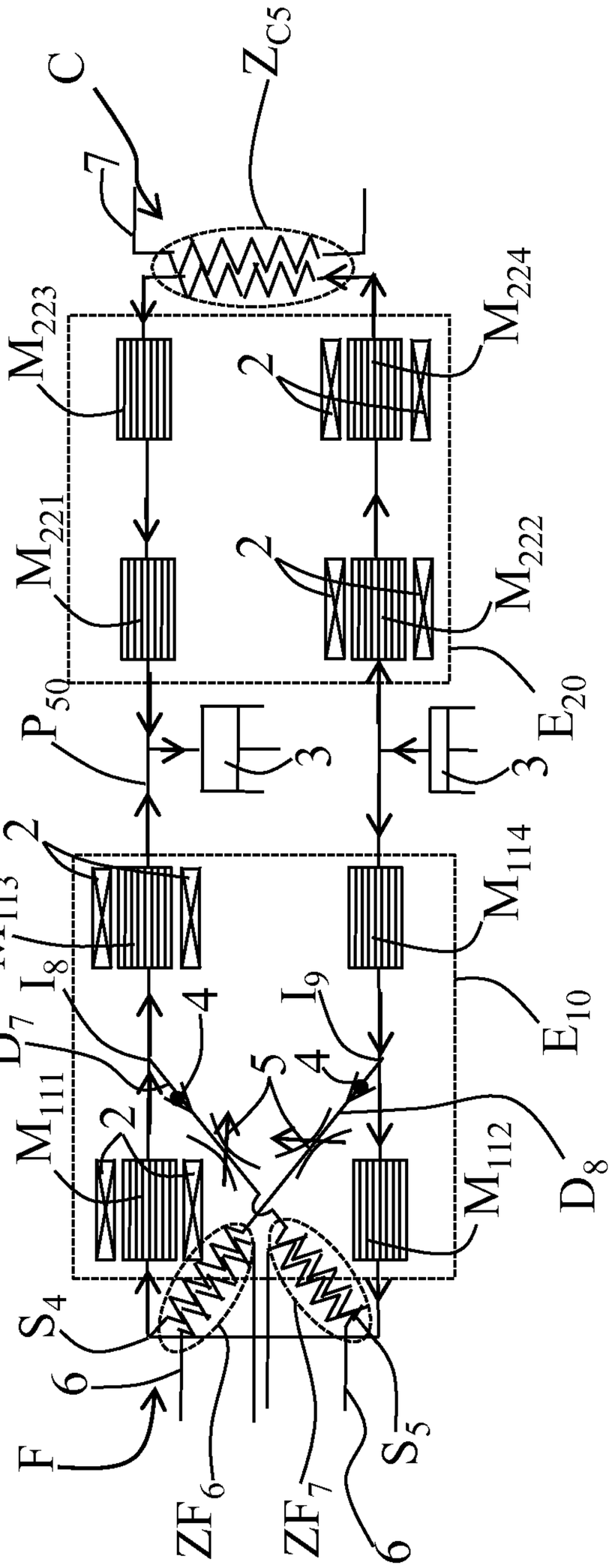

C
7
Z_{C5}
2
M_{223}
M_{224}
M_{221}
M_{222}
P_{50}
3
E_{20}
M_{113}
M_{114}
I_8
I_9
D_7
4
5
M_{111}
M_{112}
E_{10}
D_8
S_4
6
F
ZF_6
ZF_7
S_5

Fig. 5B

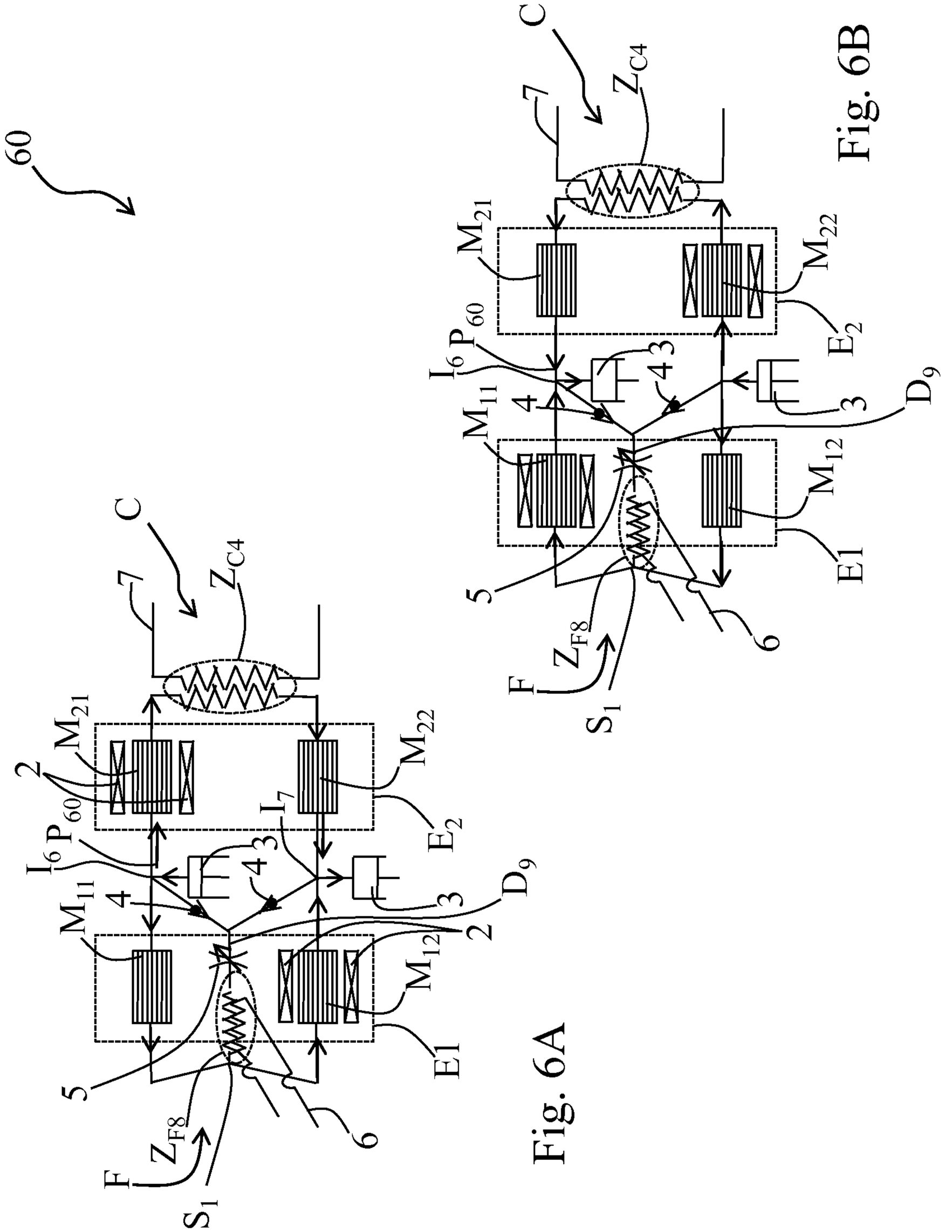


Fig. 6B

Fig. 6A

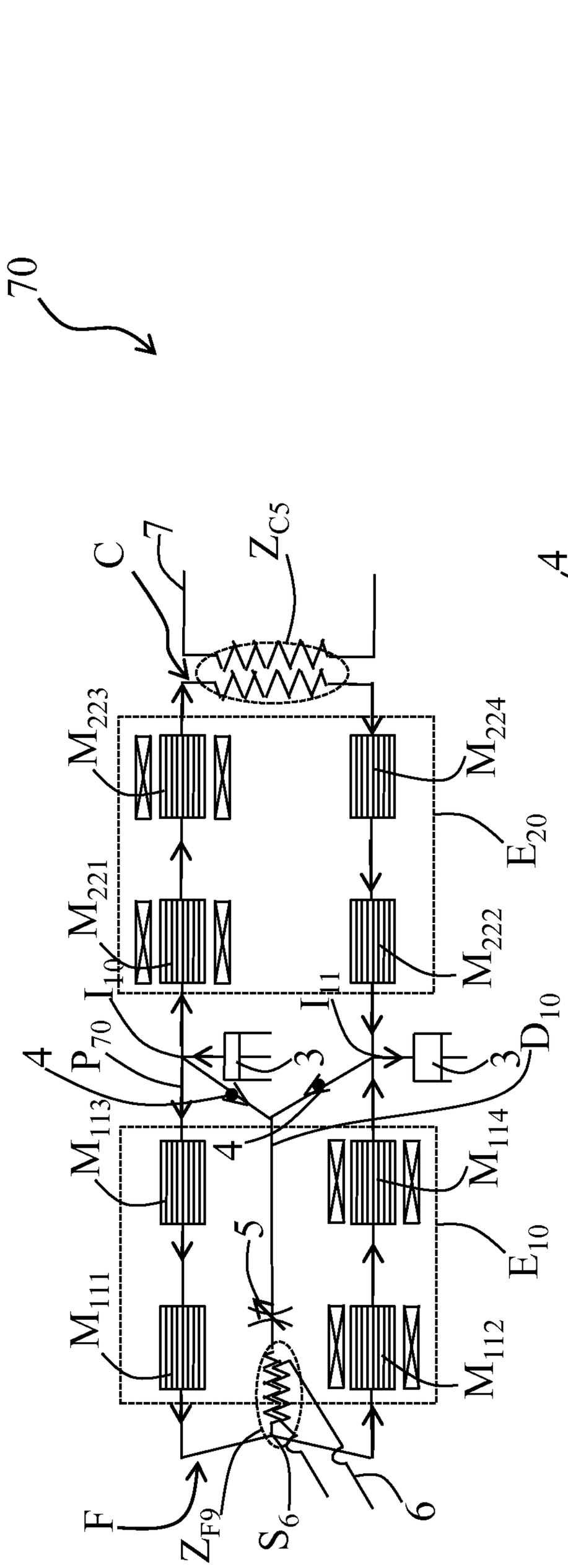

70
C
7
Z_{C5}
M_{223}
M_{224}
M_{221}
M_{222}
E_{20}
I_{10}
I_{11}
P_{70}
D_{10}
4
3
M_{113}
M_{114}
5
M_{111}
M_{112}
E_{10}
F
Z_{F9}
S_6
6

Fig. 7A

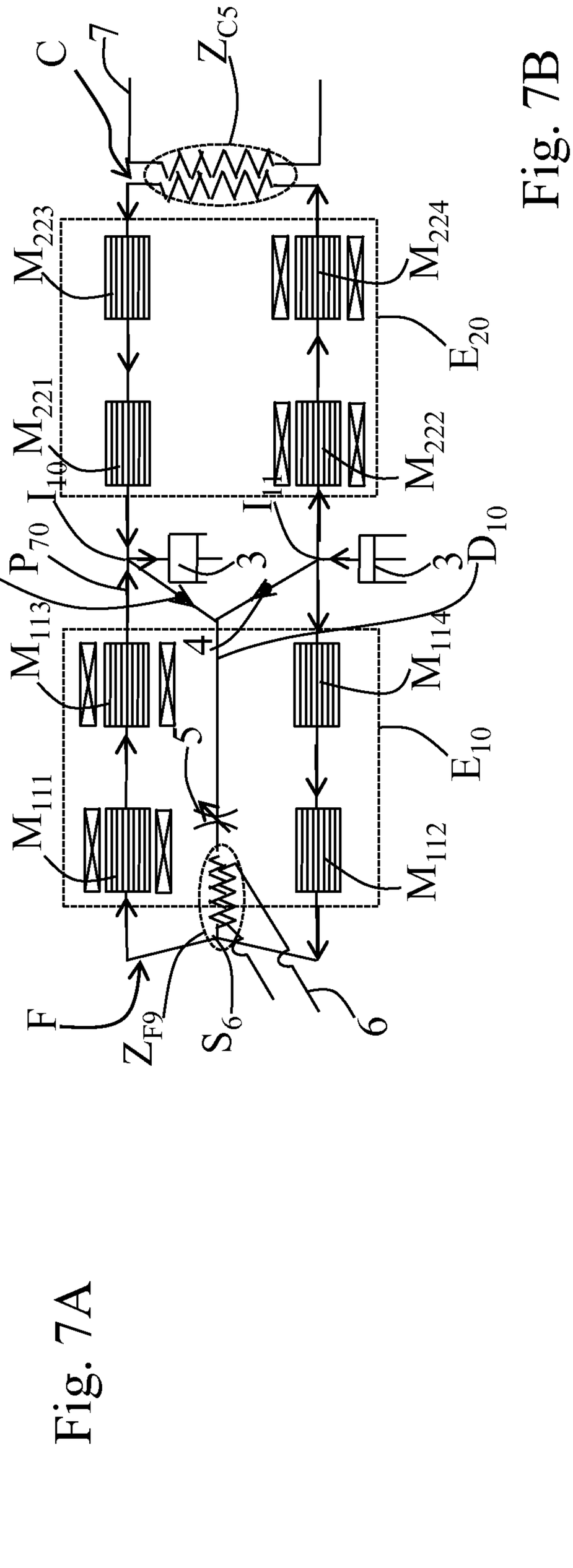

C
7
Z_{C5}
M_{223}
M_{224}
E_{20}
M_{221}
M_{222}
I_{10}
I_{11}
P_{70}
4
3
D_{10}
M_{113}
M_{114}
M_{111}
M_{112}
E_{10}
5
F
Z_{F9}
S_6
6

Fig. 7B

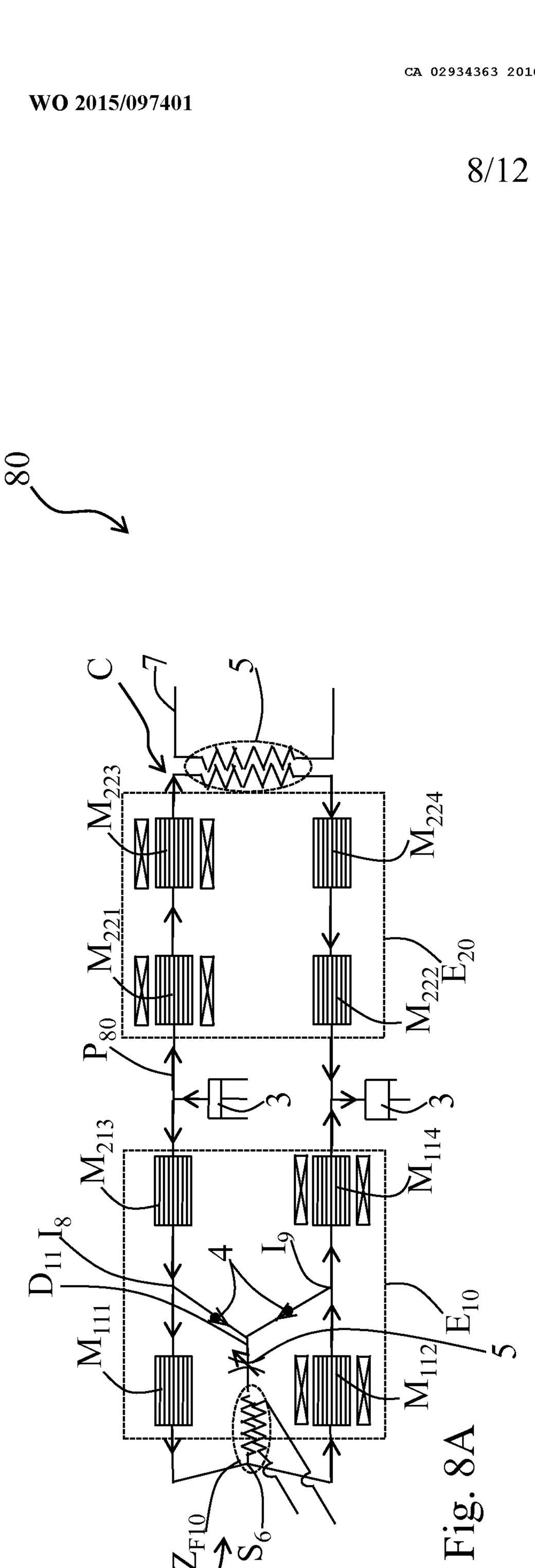

80
C
7
5
M_{223}
M_{224}
M_{221}
M_{222}
E_{20}
P_{80}
3
M_{213}
M_{114}
D_{11} I_8
I_9
4
M_{111}
M_{112}
E_{10}
5
F
Z_{F10}
S_6

Fig. 8A

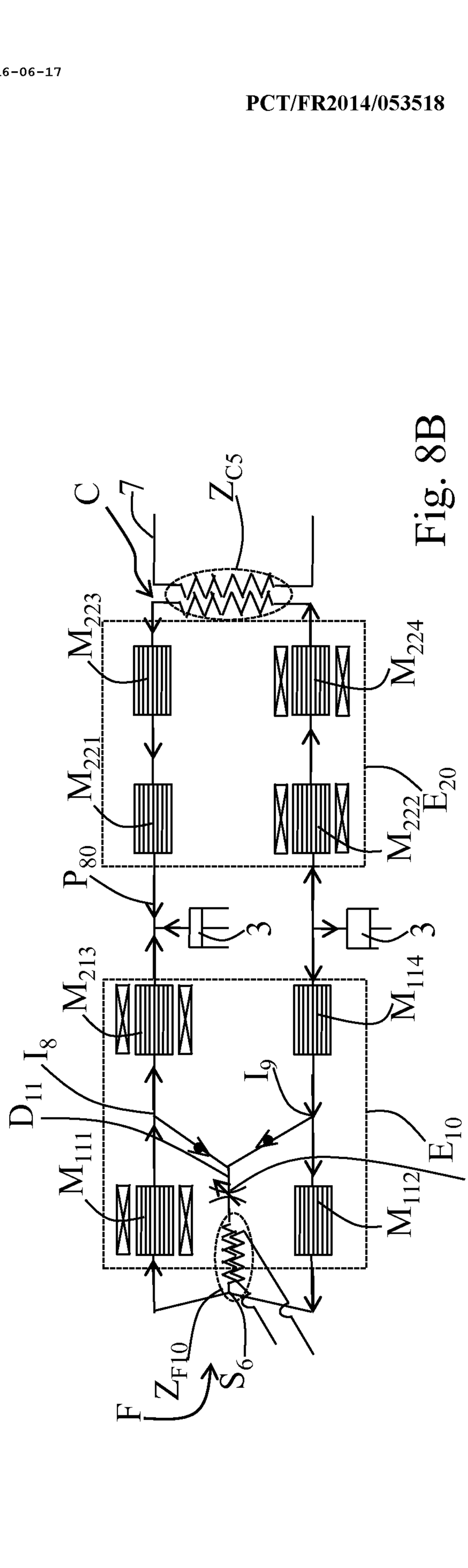

C
7
Z_{C5}
M_{223}
M_{224}
M_{221}
M_{222}
E_{20}
P_{80}
3
M_{213}
M_{114}
D_{11} I_8
I_9
M_{111}
M_{112}
E_{10}
5
F
Z_{F10}
S_6

Fig. 8

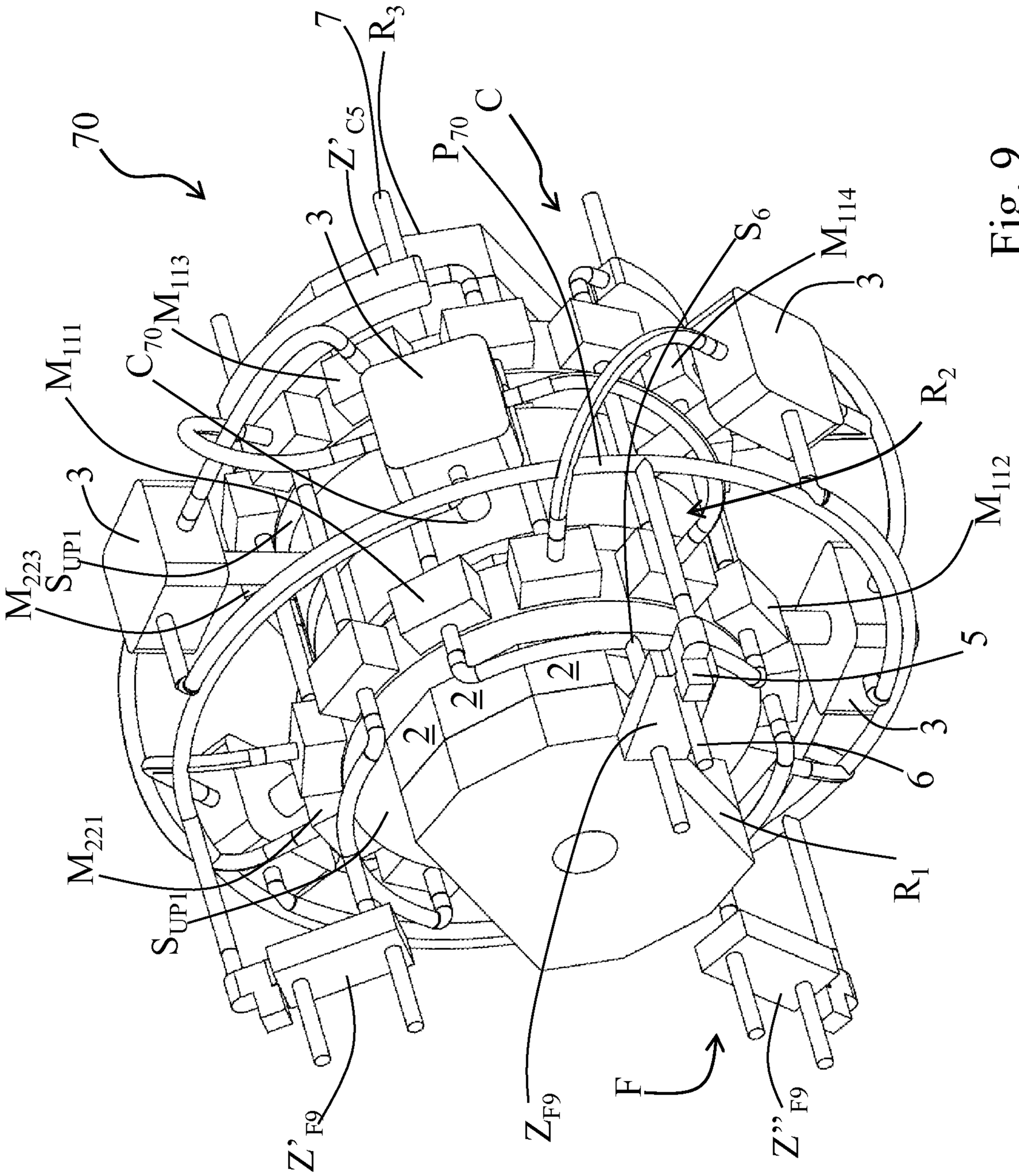

70
M_{111}
C_{70}
M_{113}
3
Z'_{C5}
7
R_3
P_{70}
C
S_6
M_{114}
3
R_2
M_{112}
M_{223}
S_{UP1}
3
5
2
2
2
3
6
M_{221}
S_{UP1}
R_1
Z'_{F9}
Z_{F9}
F
Z''_{F9}

Fig. 9

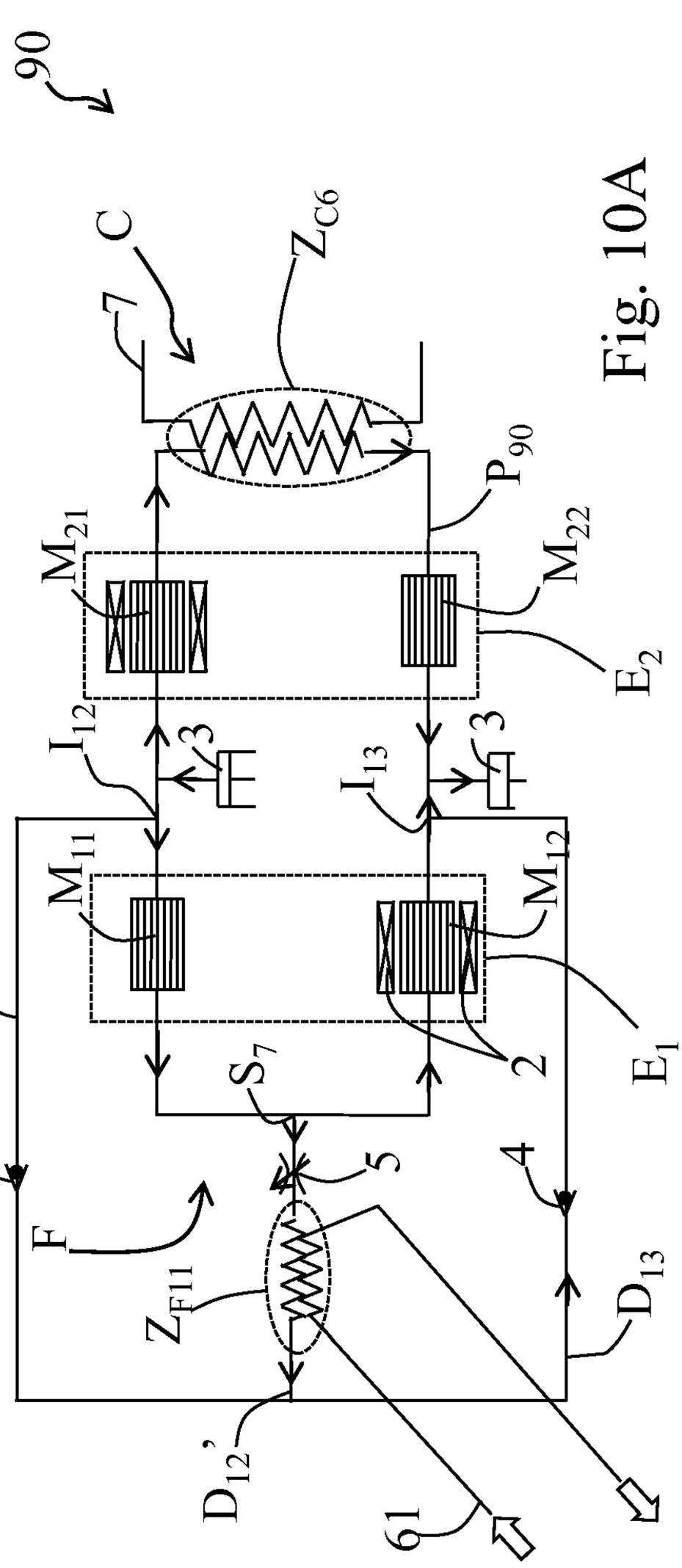


Fig. 10A

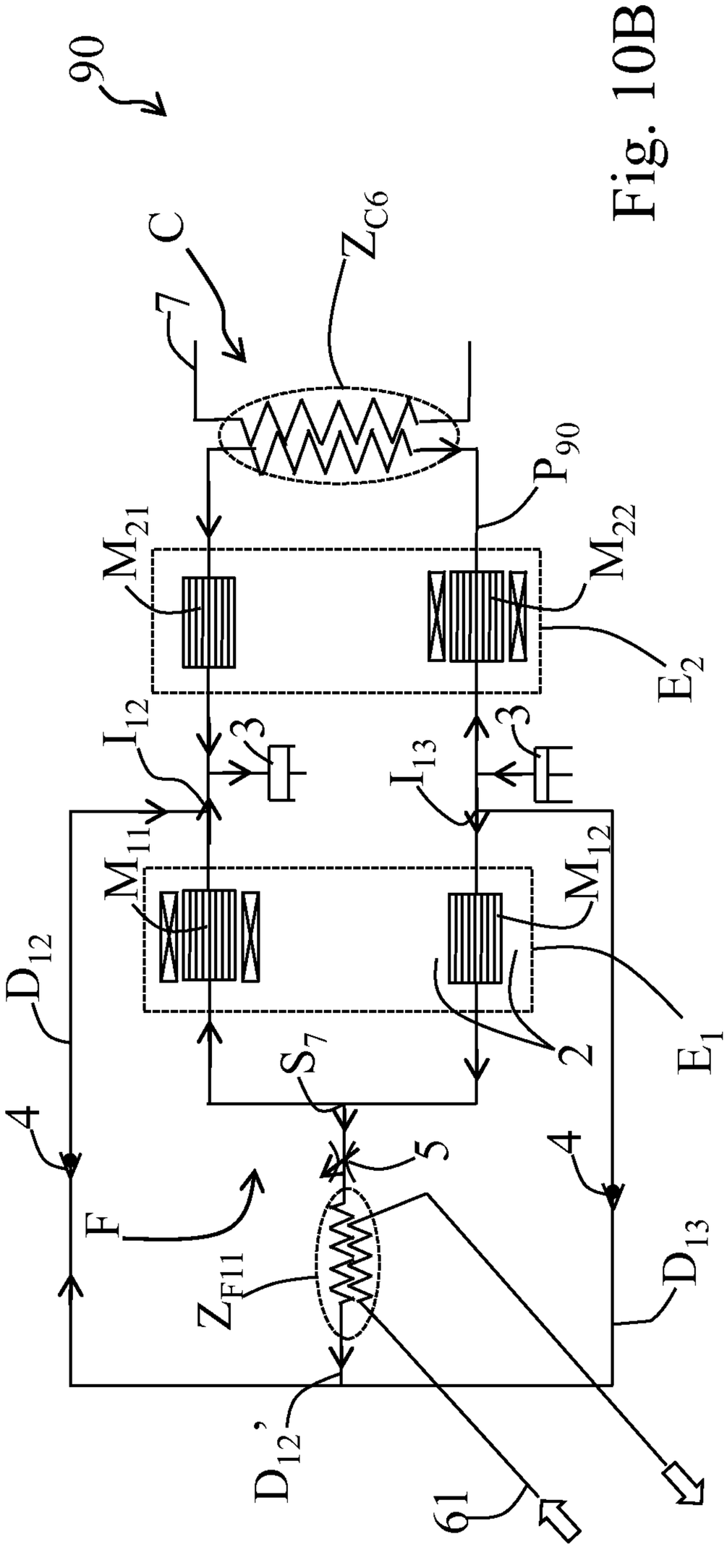


Fig. 10B

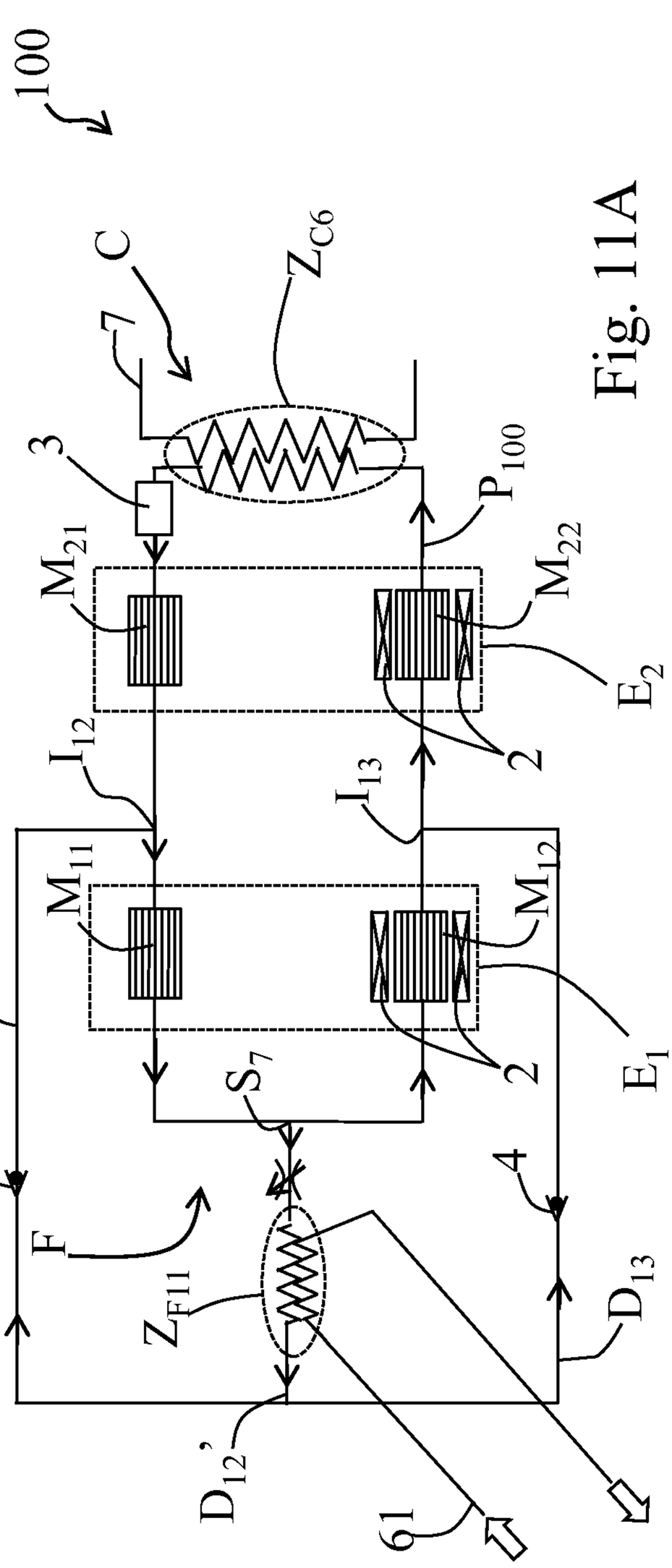


Fig. 11A

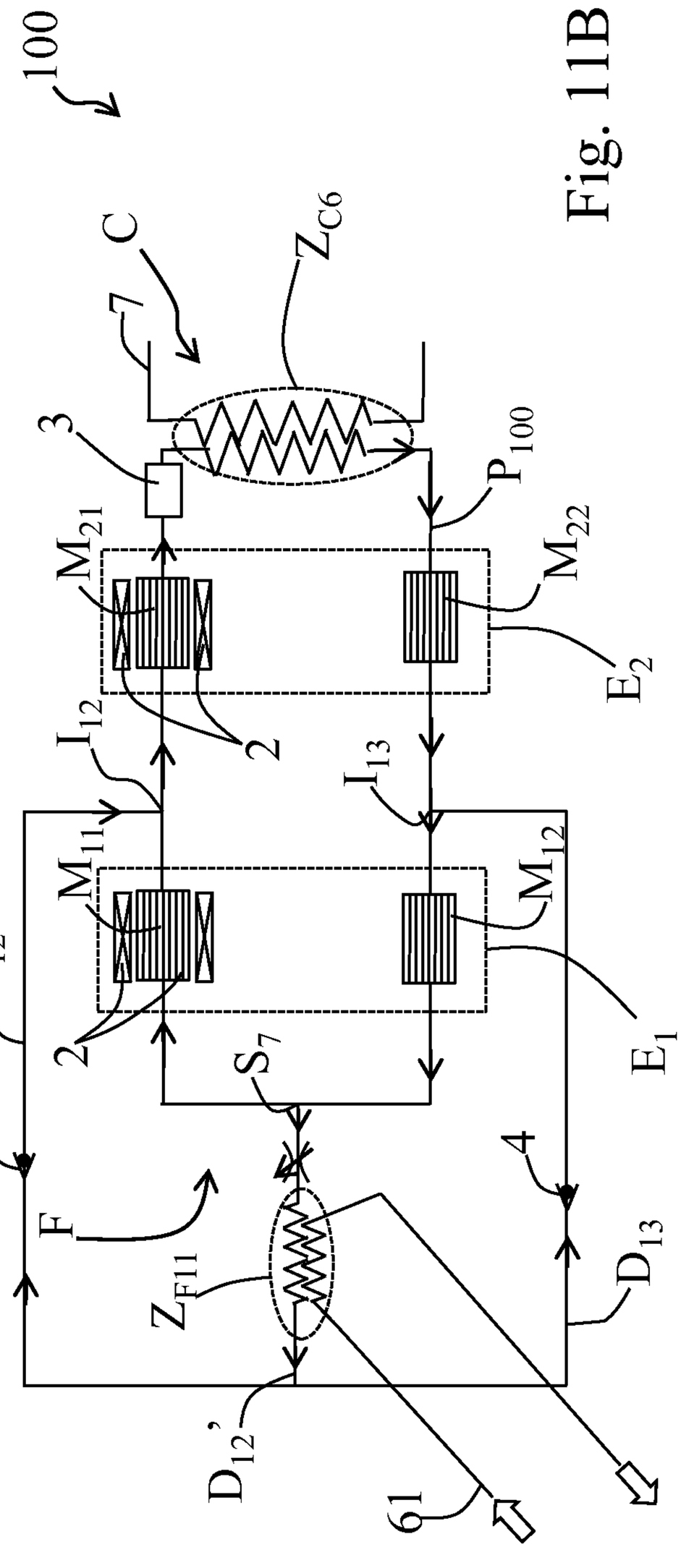


Fig. 11B

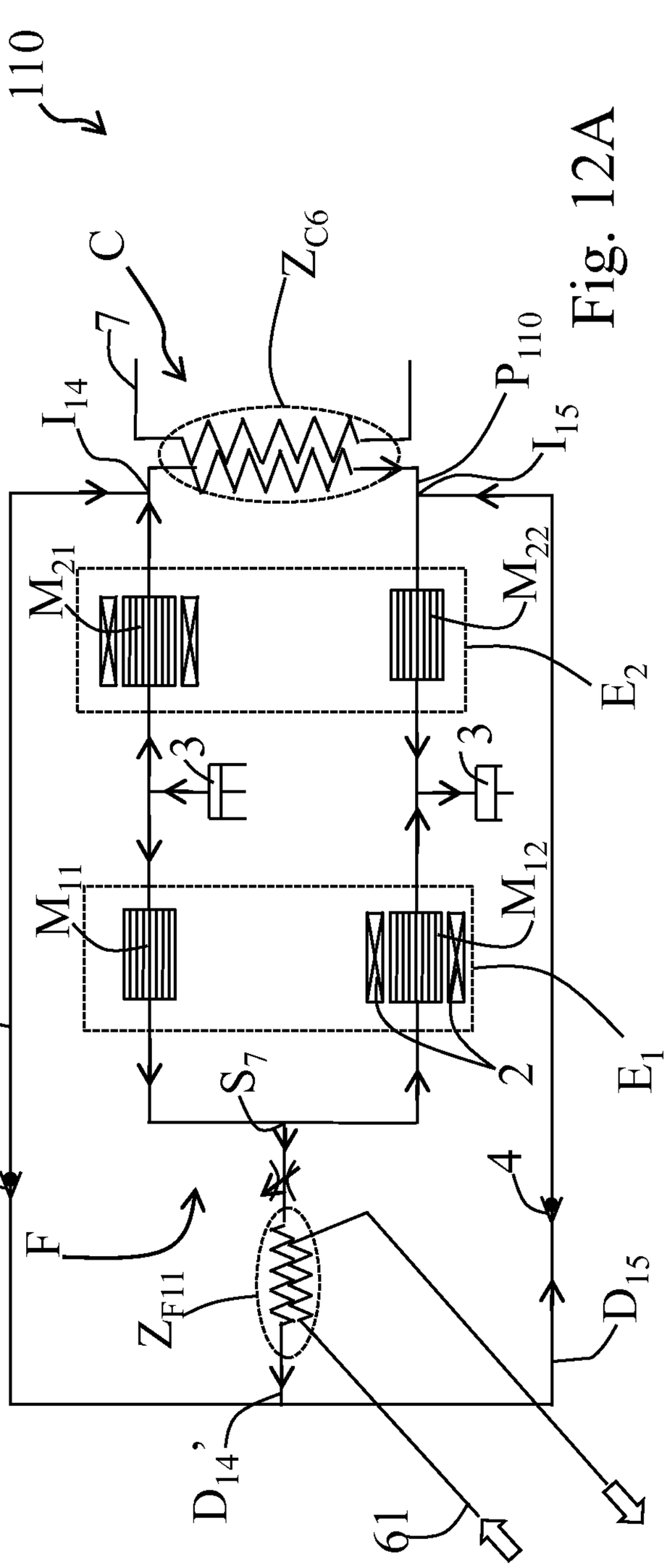


Fig. 12A

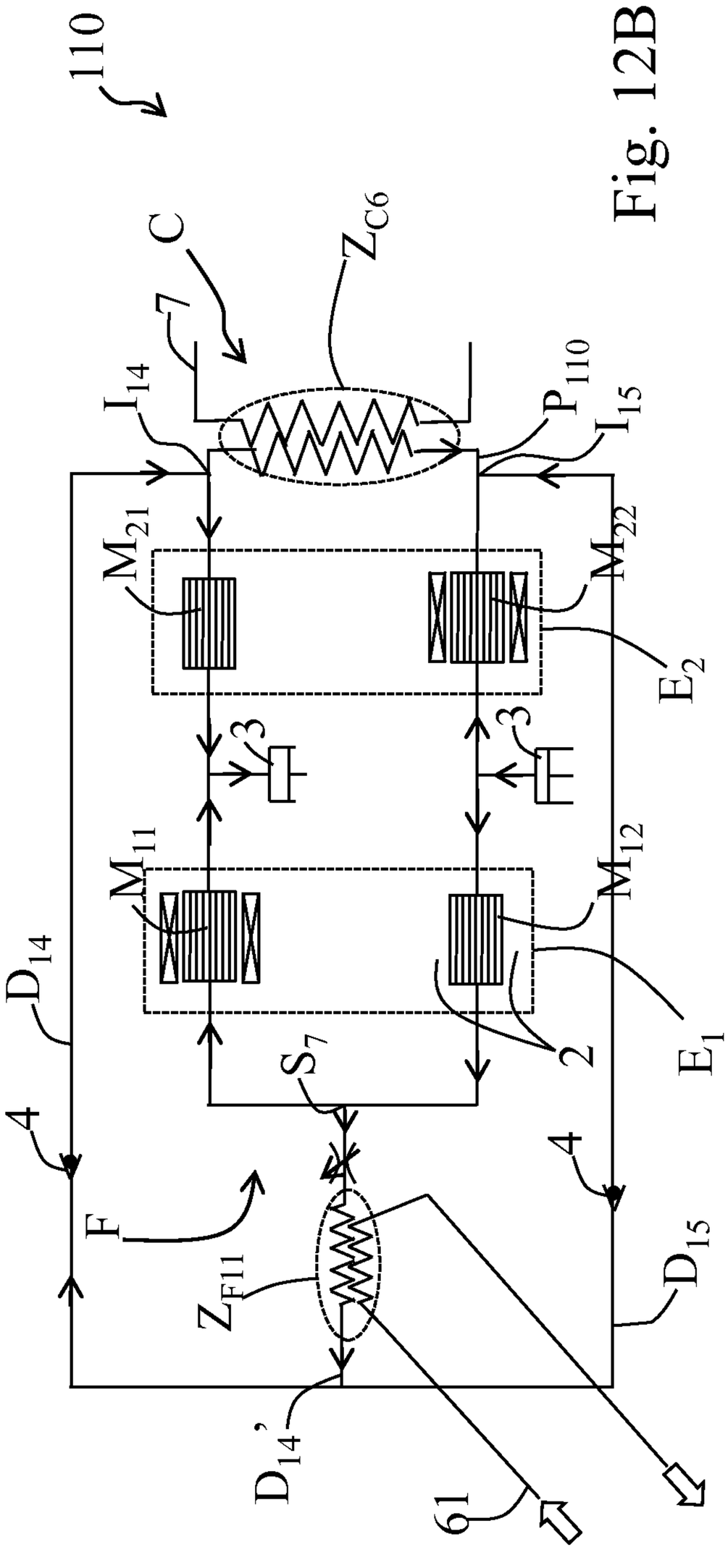


Fig. 12B

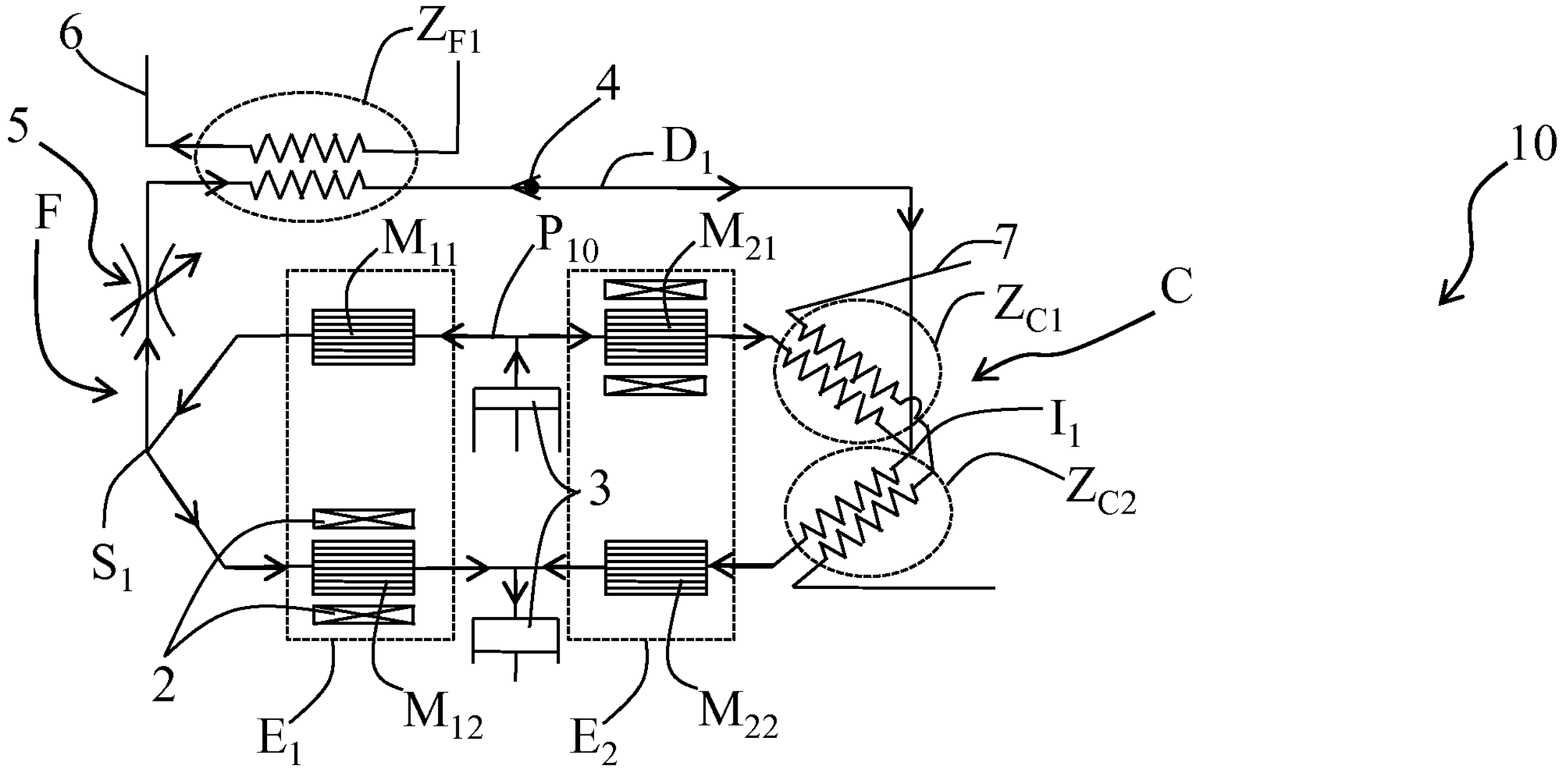


Fig. 1A