

(12)

Österreichische Patentanmeldung

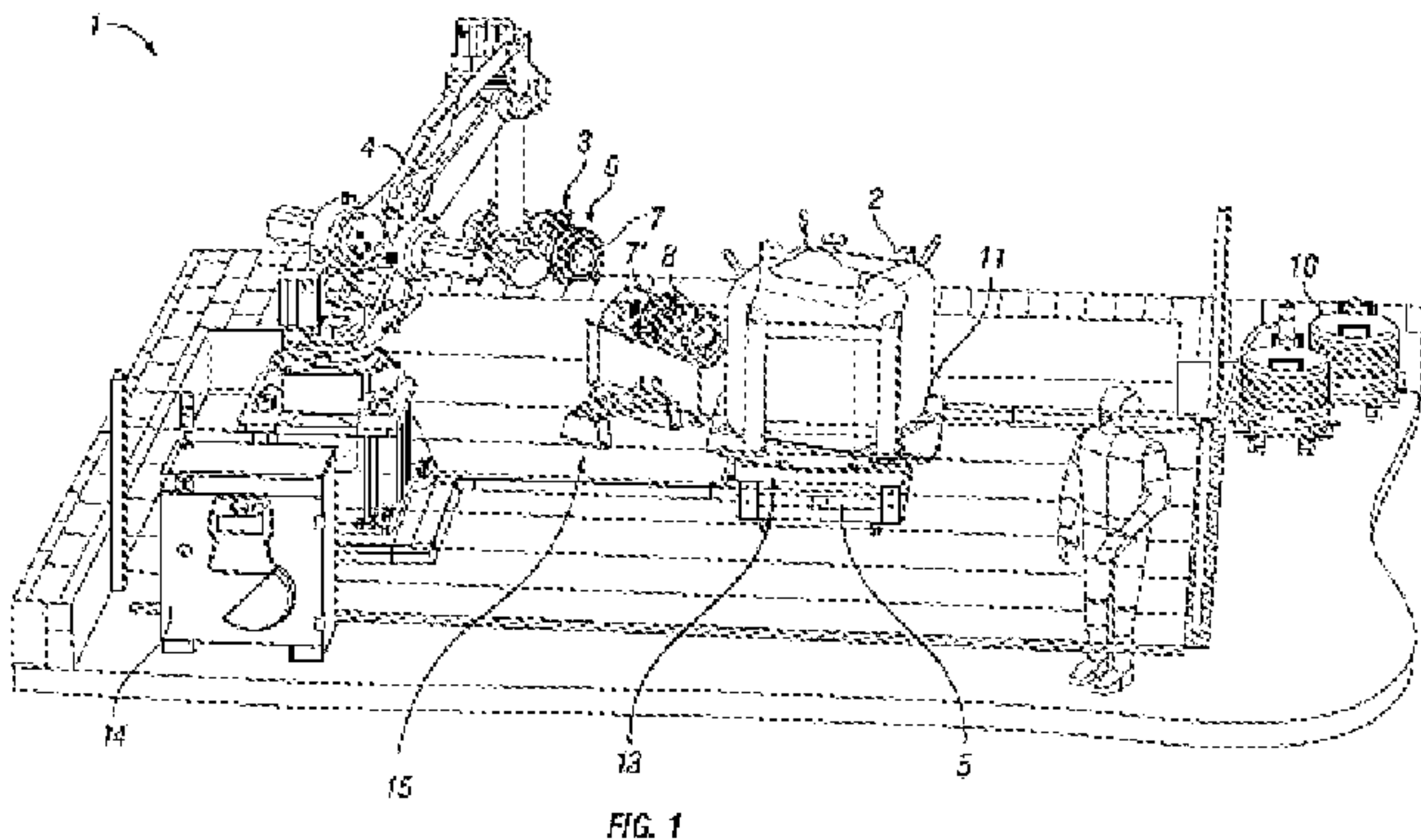
(21)	Anmeldenummer:	A 50397/2019	(51)	Int. Cl.:	G21F 9/00	(2006.01)
(22)	Anmeldetag:	02.05.2019			G21C 19/10	(2006.01)
(43)	Veröffentlicht am:	15.06.2020			G01T 1/36	(2006.01)

(30) Priorität: 12.12.2018 AT A 60236/2018 beansprucht. (56) Entgegenhaltungen: JP H02201300 A WO 2017140870 A1	(71) Patentanmelder: LEXA Dusan Dr. 2451 Hof am Leithaberge (AT) (72) Erfinder: Lexa Dusan Dr. 2451 Hof am Leithaberge (AT) (74) Vertreter: Sonn & Partner Patentanwälte 1010 Wien (AT)
---	---

(54)

Vorrichtung und Verfahren für die zerstörungsfreie Analyse eines radioaktiven Abfallgebindes

(57) Es ist eine Vorrichtung (1) für die zerstörungsfreie Analyse eines radioaktiven Abfallgebindes (2) vorgesehen, die ein Spektrometer (3) aufweist, wobei die Vorrichtung (1) einen wenigstens vierachsigen Gelenk-Roboterarm (4) aufweist und das Spektrometer (3) an dem Roboterarm (4) befestigt ist. Des Weiteren ist ein Verfahren für die zerstörungsfreie Analyse eines radioaktiven Abfallgebindes (2) vorgesehen, das die folgenden Schritte beinhaltet: Bereitstellen eines radioaktiven Abfallgebindes (2); Bewegen eines Spektrometers (3), das an einem wenigstens vierachsigen, vorzugsweise sechsachsigen Gelenk-Roboterarm (4) befestigt ist, in eine Messposition; und Erfassen von Messdaten mit dem Spektrometer (3).



ZUSAMMENFASSUNG

Es ist eine Vorrichtung (1) für die zerstörungsfreie Analyse eines radioaktiven Abfallgebundes (2) vorgesehen, die ein Spektrometer (3) aufweist, wobei die Vorrichtung (1) einen wenigstens vierachsigen Gelenk-Roboterarm (4) aufweist und das Spektrometer (3) an dem Roboterarm (4) befestigt ist. Des Weiteren ist ein Verfahren für die zerstörungsfreie Analyse eines radioaktiven Abfallgebundes (2) vorgesehen, das die folgenden Schritte beinhaltet: Bereitstellen eines radioaktiven Abfallgebundes (2); Bewegen eines Spektrometers (3), das an einem wenigstens vierachsigen, vorzugsweise sechachsigen Gelenk-Roboterarm (4) befestigt ist, in eine Messposition; und Erfassen von Messdaten mit dem Spektrometer (3).

(Fig. 1)

Die Offenbarung betrifft eine Vorrichtung für die zerstörungsfreie Analyse eines radioaktiven Abfallgebundes, die ein Spektrometer aufweist. Des Weiteren bezieht sich die Offenbarung auf ein Verfahren für die zerstörungsfreie Analyse eines radioaktiven Abfallgebundes.

Eine zerstörungsfreie Analyse (NDA; Non-Destructive Assay) wird routinemäßig von Erzeugern von radioaktivem Abfall, von Zwischenlager- und Endlagerstätten und von zuständigen Behörden durchgeführt. Von daher gibt es einige kommerzielle NDA-Systeme, die zur Verfügung stehen und die ein Spektrometer aufweisen, das an einem gewissen Punkt stationär befestigt ist oder entlang einer Schiene bewegbar ist. Aber diese sind typischerweise auf eine einzige Abfallgebindegröße und einen einzigen Analysetyp beschränkt, wie z.B. segmentierte Gamma-Scanner für die Charakterisierung von 200-l-Fässern. Jegliche Änderungen in der Abfallgebindegröße und dem Analysetyp erfordern entweder ein neues NDA-System oder eine Umarbeitung eines existierenden NDA-Systems. Die Kosten der zur Zeit zur Verfügung stehenden kommerziellen NDA-Systeme tendieren dazu, ihren Einzweckmaschinen-Charakteristiken zu entsprechen, was auch zu langen Lieferzeiten aufgrund der Notwendigkeit führt, die notwendige individuelle Modifikation für den in Betracht gezogenen Typ von Abfallgebünden, der analysiert werden soll, durchführen zu müssen.

Die JP S57206875 A zeigt ein System für die Fern- und automatische Messung der Radioaktivitätsverteilung eines Behälters mit radioaktivem Abfall, das einen Drehtisch und ein Gamma-Spektrometer aufweist.

Die US 2008/0084960 A1 offenbart ein Verfahren zum Automatisieren und Erweitern des Dichteumfangs für Gammastrahlen-Schwächungskorrektur-Algorithmen für angeblich alle Klassen von zerstörungsfreien Analysesystemen. Das Verfahren beinhaltet das Abbilden eines Objekts mit einem Strahl mit geringer Intensität und mit einem Strahl mit hoher Intensität und durch das Sammeln von passiven Emissionen und das Erhalten einer quantitativen Strahlungskarte des Objekts.

Die WO 2017/140870 A1 zeigt ein Verfahren für die Aufbereitung von radioaktivem Müll unter Verwendung eines Roboters für die Aufbereitung von radioaktivem Müll, wobei der Roboter in der Lage ist, sich zu bewegen und wenigstens eine vibrierende Nadel

aufweist.

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Offenbarung, einige oder alle der oben genannten Probleme abzuschwächen oder zu entschärfen. Insbesondere ist es eine Aufgabe der vorliegenden Offenbarung, eine Vorrichtung für die zerstörungsfreie Analyse eines radioaktiven Abfallgebundes vorzusehen, die mit jedem Abfallgebindetyp und mit jeder Abfallgebindegröße (bis zu einer akzeptablen maximalen Größe) kompatibel ist, die Fähigkeit hat, jeden Analysetyp durchführen zu können, wobei sie existierenden oder neuartigen Messprotokollen folgt, in der Lage ist, zusätzliche automatisierte Vorgänge durchführen zu können, die mit aktuellen Systemen nicht möglich sind, niedrigere Produktionskosten und eine kürzere Produktionszeit oder eine geringere oder gar keine Modifikationszeit hat, eine bessere Anpassungsfähigkeit an sich ändernde betriebliche Erfordernisse hat, eine höhere Zuverlässigkeit hat und/oder einen geringeren Wartungsbedarf hat.

Dies wird durch eine Vorrichtung für die zerstörungsfreie Analyse eines radioaktiven Abfalls wie eingangs beschrieben erzielt, wobei die Vorrichtung einen wenigstens vierachsigen Gelenk-Roboterarm aufweist und das Spektrometer an dem Roboterarm befestigt ist. Des Weiteren wird dies durch ein Verfahren für die zerstörungsfreie Analyse eines radioaktiven Abfallgebundes erreicht, wobei das Verfahren die folgenden Schritte beinhaltet:

- Bereitstellen eines radioaktiven Abfallgebundes,
- Bewegen eines Spektrometers, das an einem wenigstens vierachsigen, vorzugsweise sechsachsigen Gelenk-Roboterarm befestigt ist, in eine Messposition, und
- Erfassen von Messdaten mit dem Spektrometer.

Die Verwendung eines Roboterarms ermöglicht es, das Spektrometer frei zu Positionen innerhalb eines akzeptablen Bewegungsbereichs des Roboterarms zu bewegen und/oder das Spektrometer in verschiedenen Winkeln auszurichten, wodurch die oben genannten Probleme gelöst werden. Dies erlaubt zum Beispiel nicht nur eine Messung von den Seiten her, sondern auch von oben. Dies kann zum Beispiel notwendig sein, wenn der Abfallgebindebehälter aus Metall hergestellt ist und an seiner oberen Seite offen ist. Des Weiteren erlaubt dies zum Beispiel eine Messung von allen vier Seiten und von der Oberseite her, was für nicht zylindrische Ab-

fallgebinde, z.B. FIBCs (FIBC = flexibler Schüttgutbehälter), notwendig sein kann. Die Vorrichtung und das Verfahren ermöglichen die Messung von Abfallgebinden, die zum Beispiel Fässer, z.B. Fässer mit 100 l, 200 l und 400 l, Kisten, z.B. eine Kiste von 1,2 m x 0,8 m x 0,8 m, 1-m³-FIBCs und ein breites Spektrum von anderen umfassen. Im Allgemeinen erlaubt dies die Messung von verschiedenen Positionen aus, d.h. auch von verschiedenen Abständen und Winkeln aus. Somit kann es sein, dass eine Rekonfiguration der Vorrichtung für eine neue Aufgabe zum Beispiel oft nur eine Angelegenheit von Software-Änderungen ist.

Vierachsiger (oder entsprechend x-achsiger) Gelenkarm bezieht sich auf den Roboterarm, der mindestens 4 (oder entsprechend x) gelenkige Verbindungsstellen hat, wobei jede gelenkige Verbindungsstelle eine Drehbewegung um eine Achse gestattet, wobei alle Achsen unterschiedlich sind. Des Weiteren kann bzw. können eine oder mehrere gelenkige Verbindungsstellen vorgesehen sein, die eine translatorische (lineare) Verschiebung gestatten. Das Spektrometer ist für gewöhnlich als Endeffektor des Roboterarms vorgesehen, das heißt es ist an dem Ende des Roboterarms vorgesehen oder wenigstens an einer Position an dem Roboterarm vorgesehen, die sich weiter weg entlang dem Roboterarm von der Anfangsstelle des Roboterarms als die vier gelenkigen Drehverbindungsstellen befindet. Drei gelenkige Drehverbindungsstellen in Kombination gestatten zum Beispiel entweder eine freie Positionierung oder eine freie Ausrichtung des Endeffektors eines Roboterarms. Aber die Messung des Spektrometers kann rotationsinvariant im Hinblick auf eine Achse in der Messrichtung des Spektrometers sein, so dass zwei Rotationsachsen für die Ausrichtung des Spektrometers genug sein können. Des Weiteren kann es sein, dass keine Notwendigkeit für eine vollständig freie Bewegung des Spektrometers vorliegt, so dass zwei Rotationsachsen für die Positionierung des Spektrometers ausreichen können. Vorzugsweise ist der Roboterarm an einem Sockel montiert, wobei die Masse des Sockels mindestens gleich der, vorzugsweise 2 mal höher als die Masse des Roboterarms ist. Somit kann die maximale horizontale Reichweite des Roboterarms vergrößert werden. Vorzugsweise ist die maximale (Hand-)Gelenknutzlast des verwendeten Roboterarms wenigstens 1,5 mal, vorzugsweise 3 mal höher als die Masse des Spektrometers. Dies entspricht einem größeren Arbeits-

bereich und einer genaueren Lenkung. Des Weiteren ermöglicht dies die optionale Verwendung einer zusätzlichen Spektrometerabschirmung und/oder eines zweiten Spektrometers, und es reduziert die Abnutzung und die Wartung.

Es ist bevorzugt, wenn der Roboterarm ein (insbesondere: wenigstens) sechssachsiger Gelenk-Roboterarm ist. Wenigstens sechs Freiheitsgrade werden benötigt, um zu ermöglichen, dass der Endeffektor, d.h. das Spektrometer, eine beliebige Stellung (eine beliebige Position und Ausrichtung in dem Arbeitsraum des Roboterarms) in einem dreidimensionalen Raum erreichen kann. Zusätzliche Freiheitsgrade gestatten eine Änderung der Konfiguration von einigen Verbindungsgelenken an dem Arm (z.B. eine Aufwärtsbewegung bzw. Abwärtsbewegung eines „Ellbogens“ des Roboterarms), während sie den Endeffektor in derselben Stellung halten. Somit kann der Roboterarm sogar mit einer noch größeren Menge an unterschiedlichen radioaktiven Abfallgebinden und Protokollen kompatibel sein.

In einer vorteilhaften Ausführungsform ist das Spektrometer ein Gamma-Spektrometer, insbesondere ein Hochrein-Germanium-(HPGe; High-Purity Germanium)-Gamma-Spektrometer. Dies erlaubt eine bessere Charakterisierung des radioaktiven Abfallgebundes.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung weist diese eine Abfallgebinde-Plattform zum Halten des Abfallgebundes auf. Zum Starten der Analyse des radioaktiven Abfallgebundes wird das Abfallgebinde auf die Abfallgebinde-Plattform platziert oder die Abfallgebinde-Plattform hält das Abfallgebinde. Während der Analyse wird die Abfallgebinde-Plattform so positioniert, dass die Messposition des Spektrometers innerhalb des erreichbaren Arbeitsbereichs des Roboterarms liegt.

Es ist vorteilhaft, wenn die Abfallgebinde-Plattform bewegbar ist, insbesondere durch ein Betätigungsglied bzw. einen Aktuator. Somit kann das auf der Abfallgebinde-Plattform platzierte Abfallgebinde zum Beispiel in einen Arbeitsbereich des Roboterarms hinein und aus diesem heraus bewegt werden. Die Abfallgebinde-Plattform kann insbesondere entlang einer Schiene bewegbar sein. Die Abfallgebinde-Plattform kann in einer linearen Art und Weise bewegbar sein oder die Bewegung kann zwei oder drei Freiheitsgrade haben.

Vorzugsweise weist die Abfallgebinde-Plattform Einrichtungen

zum Drehen des Abfallgebundes auf. Dies fügt dem System einen weiteren Freiheitsgrad hinzu und kann den Betrag an Bewegung, der für den Roboterarm benötigt wird, weiter reduzieren. So kann zum Beispiel eine obere Ebene einer Abfallgebinde-Plattform, auf die das Abfallgebinde platziert werden kann, drehbar sein.

Es ist bevorzugt, wenn die Vorrichtung eine Einrichtung zur optischen Identifikation, insbesondere einen Barcodeleser aufweist, wobei die Einrichtung zur optischen Identifikation an dem Roboterarm befestigt ist. Dies erlaubt eine weitere Automatisierung der Vorrichtung, da diese den Typ eines Abfallgebundes selbständig identifizieren kann. Nachdem die Einrichtung zur optischen Identifikation durch den Roboterarm in eine geeignete Identifikationsposition (z.B. benachbart zu einer und ausgerichtet in Richtung auf eine Seite des Abfallgebundes) gebracht worden ist, kann das Abfallgebinde zum Beispiel durch die Abfallgebinde-Plattform gedreht werden, so dass eine Identifikationsmarkierung an dem Abfallgebinde durch die Einrichtung zur optischen Identifikation an einem gewissen Punkt der Ausrichtung des Abfallgebundes gelesen werden kann. Es kann auch ein maschinelles Sehen verwendet werden, wenn Abfallgebinde-Identifikationsmarkierungen nicht an einer reproduzierbaren Position und/oder Ausrichtung angebracht sind.

In einer bevorzugten Ausführungsform weist die Vorrichtung eine Waage zum Wiegen des radioaktiven Abfallgebundes auf, wobei vorzugsweise die Abfallgebinde-Plattform die Waage aufweist. Dies kann die Charakterisierung des Abfallgebundes verbessern und kann eine weitere Automatisierung ermöglichen.

Es ist vorteilhaft, wenn die Vorrichtung ein Steuergerät, insbesondere ein C5G-Steuergerät mit einem TP5-Programmierhandgerät, für die Steuerung des Roboterarms und vorzugsweise für die Steuerung und/oder das Empfangen von Daten von dem Spektrometer und/oder für die Steuerung der Abfallgebinde-Plattform aufweist. Dies gestattet die Steuerung der anderen Komponenten der Vorrichtung und gestattet auch eine weitere Automatisierung, sowie auch eine Benutzereingabe in Bezug zum Beispiel auf Parameter für den Messprozess. Alternativ dazu kann jeweils durch einen separaten PC oder eine Software, die auf einem separaten PC läuft, das Spektrometer gesteuert werden und können Daten ausgehend von dem Spektrometer empfangen werden.

Es ist bevorzugt, wenn der Roboterarm ein Befestigungsmittel zum auswechselbaren Montieren wenigstens eines Kollimators (derart, dass dieser die Strahlung kollimiert, die das Spektrometer erreicht) aufweist und wenn die Vorrichtung eine Ablage zum Aufbewahren von unbenutzten Kollimatoren aufweist, die nicht an dem Roboterarm montiert sind. Dies erlaubt eine weitere Automatisierung, da der Roboterarm somit den Kollimator selbständig auswechseln kann, falls dies durch die Messung notwendig ist. Die Ablage für die Aufbewahrung eines unbenutzten Kollimators, vorzugsweise für die Aufbewahrung von wenigstens zwei Kollimatoren, sollte innerhalb des erreichbaren bearbeitbaren Bereichs des Roboterarms positioniert sein. Vorzugsweise weist die Vorrichtung einen Kollimator mit einer 90° -Öffnung und einen Kollimator mit einer 30° -Öffnung auf. Vorzugsweise weist die Vorrichtung einen einzigen Kollimator auf, der an dem Roboterarm montiert ist, insbesondere den Kollimator mit einer 90° -Öffnung oder einer 30° -Öffnung. Der Winkel bezieht sich auf einen Öffnungswinkel, d.h. auf einen Sehwinkel, des Kollimators. Vorzugsweise begrenzt/verengt der Kollimator das Sichtfeld des Spektrometers, so dass dieses in einer Messposition des Spektrometers nur das Abfallgebinde enthält, oder allgemeiner gesagt, dass dieses das Abfallgebinde und so wenig unrelevante Objekte wie möglich enthält. Der Kollimator funktioniert dahingehend, den Hintergrund zu minimieren.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist das Spektrometer ein mit flüssigem Stickstoff gekühltes Spektrometer. Vorzugsweise weist der Roboterarm einen ersten Flüssigstickstoffbehälter (z.B. einen Kryostat) auf und weist die Vorrichtung einen zweiten Flüssigstickstoffbehälter (z.B. einen Dewarbehälter) auf, wobei der erste und der zweite Flüssigstickstoffbehälter über eine Andockstation miteinander verbunden werden können. Da der erste Flüssigstickstoffbehälter an dem Roboterarm montiert ist, kann er direkt mit dem Spektrometer verbunden werden, und wenn der erste Flüssigstickstoffbehälter leer oder fast leer ist, kann der Roboterarm die ersten und die zweiten Flüssigstickstoffbehälter über die Andockstation miteinander koppeln und den ersten Flüssigstickstoffbehälter nachfüllen. Die Andockstation ist vorzugsweise permanent mit dem zweiten Flüssigstickstoffbehälter (z.B. über eine isolierte Leitung) verbunden. Die Andock-

station sollte in dem erreichbaren Arbeitsbereich des Roboterarms und/oder außerhalb eines Raums positioniert sein, der während des normalen Betriebs von dem Spektrometer und dem Abfallgebinde benutzt wird. Vorteilhafterweise weisen die Andockstation und der erste Flüssigstickstoffbehälter Kopplungen für das Koppeln miteinander auf. Alternativ dazu kann das Spektrometer ein elektrisch gekühltes Spektrometer sein.

Es ist bevorzugt, wenn die Vorrichtung des Weiteren eine radioaktive Referenzquelle aufweist. Diese radioaktive Referenzquelle kann verwendet werden, um das Spektrometer zu kalibrieren und, falls notwendig, einzustellen. Vorteilhafterweise ist die radioaktive Referenzquelle innerhalb des (erreichbaren) Arbeitsbereichs des Roboterarms oder nahe bei diesem platziert, so dass der Roboterarm das Spektrometer in eine geeignete Position für eine Messung der und Kalibrierung mit der radioaktiven Referenzquelle bringen kann. Dies kann z.B. täglich durchgeführt werden, bevor die gewöhnlichen Messungen mit dem Spektrometer gestartet werden. Vorzugsweise weist die radioaktive Referenzquelle ein oder mehrere Radionukleide mit wohl definierten Gamma-Emissionsspitzen auf, die insbesondere den gesamten (relevanten) Energiebereich abdecken, z.B. Na-22 und Eu-155 mit einer Aktivität von 37 kBq.

In einer vorteilhaften Ausführungsform weist die Vorrichtung eine Strahlungsquelle, insbesondere eine Gamma-Strahlungsquelle, auf, die vorzugsweise eine Radionuklidzusammensetzung und eine Aktivität aufweist, die dafür geeignet sind, das Abfallgebinde zu durchdringen, und noch bevorzugter, um ein Spektrum innerhalb einer angemessenen Zeit zu erhalten. Die Strahlungsquelle könnte z.B. Eu-152 mit einer Aktivität von 3,7 GBq umfassen. Die Strahlungsquelle hat eine Aktivität von vorzugsweise zwischen 0,01 und 1000 GBq, noch bevorzugter zwischen 0,1 und 100 GBq und sogar noch bevorzugter zwischen 1 und 10 GBq. Vorzugsweise deckt die Strahlung, die von der Strahlungsquelle ausgestrahlt wird, den gesamten Energiebereich ab und beeinträchtigt nicht Radionuklide, von denen erwartet wird, dass sie in dem Abfallgebinde vorhanden sind. Diese Strahlungsquelle kann für die Radiographie, insbesondere die Tomographie, eines Objekts verwendet werden, wobei das Spektrometer als ein Detektor verwendet wird. Die Dichte und insbesondere die Dichteverteilung des zu untersu-

chenden Objekts kann somit ermittelt werden. Es ist vorteilhaft, wenn die Vorrichtung einen zweiten Roboterarm aufweist, vorzugsweise einen wenigstens vierachsigen Gelenk-Roboterarm, noch bevorzugter einen sechachsigen Gelenk-Roboterarm, wobei die Strahlungsquelle an dem zweiten Roboterarm montiert ist. Somit kann ein zu untersuchendes Objekt in verschiedenen Richtungen geröntgt, also einer Radiographie unterzogen werden.

In einer anderen Ausführungsform der Vorrichtung weist die Vorrichtung ein oder mehrere weitere (Gamma-) Spektrometer auf, insbesondere ein zweites Spektrometer und vorzugsweise ein drittes Spektrometer. Vorzugsweise sind auch das bzw. die weitere(n) Spektrometer an dem Roboterarm montiert. Sie können zusammen mit dem oben erwähnten Spektrometer für eine Freimessung bzw. Unbedenklichkeitserklärungsmessung (Freigabemessung) eines Abfallgebundes verwendet werden, d.h. für die Feststellung, ob die Radioaktivität des Abfallgebundes unterhalb eines vorbestimmten Grenzwerts, insbesondere unter den geltenden gesetzlichen Grenzwerten, liegt und infolgedessen *von Rechts wegen* als nicht radioaktives Material behandelt werden kann.

Unter Bezugnahme auf das erfindungsgemäße Verfahren beinhaltet das Bewegen des Spektrometers das translatorische Bewegen des Spektrometers entlang einem, vorzugsweise zwei, sogar noch bevorzugter drei Freiheitsgraden in einem dreidimensionalen Raum und/oder das Ändern der Ausrichtung des Spektrometers in Bezug auf eine, vorzugsweise zwei, noch bevorzugter drei Freiheitsgrade durch das Drehen des Spektrometers.

Es ist bevorzugt, wenn das Verfahren des Weiteren einen oder mehrere der folgenden Schritte beinhaltet:

Platzieren des Abfallgebundes auf einer Abfallgebinde-Plattform, insbesondere während sich der Roboterarm und/oder die Abfallgebinde-Plattform in einer vordefinierten Ausgangsposition befindet bzw. befinden,

Auswählen von einem aus einer Gruppe von vordefinierten Abfallgebindetypen und/oder Messprotokollen in einer Benutzeranwendung, und/oder

Einstellen von einem oder mehreren zusätzlichen Parametern, insbesondere der Datenerfassungszeit und/oder der maximalen Detektortotzeit, insbesondere dann, wenn der Standardwert des jeweiligen zusätzlichen Parameters nicht geeignet ist, in der

Benutzeranwendung.

Es ist vorteilhaft, wenn das Verfahren des Weiteren einen oder mehrere der folgenden Schritte beinhaltet:

Bewegen und/oder Schwenken der Plattform und/oder Bewegen des Roboterarms in eine optische Identifikationsposition, insbesondere in eine Barcode-Leseposition,

Aktivieren einer Einrichtung zur optischen Identifikation, insbesondere eines Barcodelesers oder einer Kamera,

Lesen eines optischen Identifikationsmerkmals mit der Einrichtung zur optischen Identifikation, insbesondere eines Barcodes mit dem Barcodeleser, und/oder

Ermitteln eines Gewichts des Abfallgebindes.

Das Lesen des Barcodes und das Wiegen des Abfallgebindes erlauben eine Charakterisierung und eine Identifikation des Abfallgebindes. Da der Barcodeleser an dem Roboterarm angebracht ist, kann diese Aktion komplett automatisch durchgeführt werden. Das Schwenken der Plattform bezieht sich auf das Drehen des Abfallgebindes.

In einer bevorzugten Variante beinhaltet das Verfahren des Weiteren einen oder mehrere der folgenden Schritte:

Bewegen der Abfallgebinde-Plattform und des Roboterarms vorzugsweise synchron, insbesondere in eine Messposition, und

Anhalten des Roboterarms und der Abfallgebinde-Plattform in einer Messposition, während das Spektrometer Messdaten erfasst.

Alternativ dazu kann nur der Roboterarm bewegt werden. Das Bewegen der Abfallgebinde-Plattform kann auch das Drehen des Abfallgebindebehälters beinhalten. Die Drehung (während der Messung) kann eingesetzt werden, um die Effekte einer Matrixdichte und/oder einer Aktivitätsinhomogenität zu minimieren. Aber eine Drehung von nicht zylindrischen Abfallgebinden während der Messung kann in diesem Fall nicht praktisch sein, da sich die Messeffizienz mit der relativen Position des Abfallgebindes und des Spektrometers ändert. Deshalb kann die Messung in mehreren wirkungsgradäquivalenten Geometrien durchgeführt werden. Die einzelnen Spektren, die erfasst werden, können summiert werden und das Summenspektrum kann ausgewertet werden. Es ist auch möglich, einzelne Spektren separat zu evaluieren und die so erhaltenen Unterschiede in den Aktivitäten als ein Maß einer Matrixdichte und/oder einer Aktivitätsinhomogenität zu verwen-

den. Das Auswählen von wirkungsgradäquivalenten Geometrien ist praktisch, aber nicht notwendig. Es können auch andere Geometrien ausgewählt werden, zum Beispiel eine Messung von der Oberseite her. In diesem Fall können die entsprechenden Spektren zum Beispiel unter Verwendung geeigneter Wirkungsgrade ausgewertet werden.

Vorzugsweise beinhaltet das Verfahren des Weiteren einen oder mehrere der folgenden Schritte:

Anzeigen eines Messfortschritts durch die Benutzeranwendung,
Zurückbringen der Abfallgebinde-Plattform und/oder des Roboterarms in die Ausgangsposition,

Entladen des Abfallgebundes von der Abfallgebinde-Plattform,
und/oder

Anzeigen von Messergebnissen und/oder Erstellen eines Spektrums und/oder von Berichtdateien durch die Benutzeranwendung.

Somit sind die Ergebnisse der Messung leicht verfügbar.

Es ist vorteilhaft, wenn das Verfahren des Weiteren einen oder mehrere der folgenden Schritte beinhaltet:

Durchführen einer Vormessung des Abfallgebundes unter Verwendung eines ersten Kollimators, insbesondere eines Kollimators mit einer 90°-Öffnung, der an dem Roboterarm montiert ist,

Feststellen, ob eine vordefinierte Detektortotzeit überschritten wird,

wenn die Detektortotzeit überschritten wird, Abnehmen des ersten Kollimators in eine Ablage hinein und Montieren eines zweiten Kollimators, wobei der zweite Kollimator einen engeren Öffnungswinkel als der erste Kollimator hat, insbesondere eines Kollimators mit einer 30°-Öffnung,

wobei vorzugsweise der erste und der zweite Kollimator jeweils insbesondere durch eine Bewegung des Roboterarms und vorzugsweise durch einen Bajonettbefestigungsmechanismus an dem Roboterarm montiert oder von diesem abgenommen werden.

Somit kann aufgrund der Verwendung eines Roboterarms, der das Spektrometer und den Kollimator trägt, eine automatische Kollimatorauswechselung vorgesehen werden. Es besteht keine Notwendigkeit für eine Intervention durch eine Person, was den Messprozess viel leichter und schneller macht. Es können auch drei, vier oder mehr verschiedene Kollimatoren vorgesehen sein.

Es ist bevorzugt, wenn der Roboterarm ein automatisches

Nachfüllen von Flüssigkeit für das Spektrometer durchführt, wobei das Spektrometer ein mit flüssigem Stickstoff gekühltes Spektrometer ist. Dies beinhaltet vorzugsweise die folgenden Schritte:

Andocken eines ersten Flüssigstickstoffbehälters, den der Roboterarm aufweist, an einem zweiten Flüssigstickstoffbehälter vorteilhafterweise über eine Andockstation, vorzugsweise in vordefinierten Zeitintervallen, durch eine Bewegung des Roboterarms, und

Zufließen von flüssigem Stickstoff von dem zweiten Flüssigstickstoffbehälter zu dem ersten Flüssigstickstoffbehälter, und vorzugsweise Stoppen des Zufließens von flüssigem Stickstoff, sobald ein Sensor einen Wechsel von gasförmigem zu flüssigem Stickstoff erfasst.

Dies macht einen Gesamtbetrieb des Systems viel einfacher und schneller. Hinsichtlich des Stoppens des Fließens von flüssigem Stickstoff, sobald ein Sensor einen Wechsel von gasförmigem zu flüssigem Stickstoff erfasst: Während des Füllens, d.h. des Fließens von flüssigem Stickstoff aus dem zweiten Flüssigstickstoffbehälter in den ersten Flüssigstickstoffbehälter, entweicht zuerst gasförmiger Stickstoff aus dem (leeren oder teilweise leeren) ersten Flüssigstickstoffbehälter. Erst dann, wenn der erste Flüssigstickstoffbehälter aufgefüllt ist, entweicht flüssiger Stickstoff aus dem ersten Flüssigstickstoffbehälter.

Vorzugsweise beinhaltet das Verfahren eine automatische Kalibrierung und falls notwendig eine Einstellung des Spektrometers. Zu diesem Zweck bewegt der Roboterarm das Spektrometer in eine Position für die Messung der Strahlung einer radioaktiven Referenzquelle. Danach kann das Spektrometer kalibriert und falls notwendig eingestellt werden. Es ist vorteilhaft, wenn dieser Kalibrierungsprozess automatisch und/oder regelmäßig durchgeführt wird, z.B. täglich vor dem Start der regulären Messungen.

In einer anderen Variante kann das radioaktive Abfallgebinde jegliches Objekt sein. Das Objekt soll geröntgt, insbesondere tomographiert werden. Zu diesem Zweck ist eine Strahlungsquelle vorgesehen, insbesondere hinter dem Objekt mit Blick auf das Spektrometer, d.h. gegenüber dem Spektrometer mit dem Objekt da-

zwischen. Die Strahlungsquelle wird insbesondere durch einen zweiten Roboterarm in die Position gebracht. Der (erste) Roboterarm kann das Spektrometer für die Messung aus unterschiedlichen Richtungen/Winkeln bewegen, während der zweite Roboterarm die Strahlungsquelle in eine entsprechende Position hinter dem Objekt bewegt.

Es ist vorteilhaft, wenn das Verfahren für eine Unbedenklichkeitserklärungssmessung (Freigabemessung) verwendet wird. In diesem Fall ist das oben erwähnte radioaktive Abfallgebinde typischerweise nur geringfügig radioaktiv oder nicht radioaktiv. Zu diesem Zweck werden ein oder mehrere weitere Spektrometer zusammen mit dem Spektrometer bewegt und sammeln Daten (gleichzeitig). Dies führt zu einer höheren Messeffizienz und somit zu einer niedrigeren kleinsten nachweisbaren Aktivität (MDA; Minimum Detectable Activity) für eine vorgegebene Dauer einer Messung im Vergleich zu einem einzigen Spektrometer.

Die Erfindung wird nun ausführlicher unter Bezugnahme auf die beigefügten exemplarischen Ausführungsformen erläutert; die Erfindung ist aber nicht darauf beschränkt.

Fig. 1 zeigt eine exemplarische Ausführungsform der Vorrichtung für die zerstörungsfreie Analyse eines radioaktiven Abfallgebundes;

Fig. 2 zeigt die Arbeitsbereiche des Roboterarms einer exemplarischen Ausführungsform der Vorrichtung;

Fig. 3 zeigt die Ablage für Kollimatoren in einer exemplarischen Ausführungsform der Vorrichtung;

Fig. 4 veranschaulicht das Nachfüllen von flüssigem Stickstoff über eine Andockstation;

Fig. 5 und Fig. 6 veranschaulichen die Messung von wirkungsgradäquivalenten Geometrien.

Fig. 1 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform der Vorrichtung 1 für die zerstörungsfreie Analyse eines radioaktiven Abfallgebundes 2. Die Vorrichtung 1 weist ein Gamma-Spektrometer 3 und einen sechssachsigen Gelenk-Roboterarm 4 auf. Das Gamma-Spektrometer 3 ist an dem Ende des Roboterarms 4 an der Position montiert, an der für Gewöhnlich der Endeffektor montiert ist. Das Abfallgebinde 2 wird auf eine Abfallgebinde-Plattform 5 platziert, die entlang einer Schiene bewegbar ist und die eine obere Platte hat, die drehbar ist, so dass sich der Abfallgebindebe-

hälter 2, der oben auf dieser platziert ist, mit dieser dreht. Integriert in die Abfallgebinde-Plattform 5 ist eine Waage. Der Roboterarm 4 weist ein Befestigungsmittel 6 für das auswechselbare Montieren eines Kollimators 7 auf. Des Weiteren weist die Vorrichtung 1 eine Ablage 8 zum Aufbewahren eines zweiten, unbenutzten Kollimators (7') auf. In dieser Ausführungsform hat die Ablage 8 Platz zum Aufbewahren von zwei Kollimatoren, so dass der Roboterarm 4 einen Kollimator abnehmen und auf der Ablage 8 platzieren kann und danach den anderen Kollimator aufheben und daran montieren kann (und umgekehrt). Das Spektrometer 3 wird mit flüssigem Stickstoff gekühlt. Der Roboterarm 4 weist einen ersten Flüssigstickstoffbehälter 9 auf (siehe Fig. 4) und die Vorrichtung 1 weist einen zweiten Flüssigstickstoffbehälter 10 auf. Die ersten und die zweiten Flüssigstickstoffbehälter 9, 10 können über eine Andockstation 15 miteinander verbunden werden. Die Abfallgebinde-Plattform 5 weist Einrichtungen 11 zum Drehen des Abfallgebundes 2 und eine Waage 13 auf. Des Weiteren ist ein Steuergerät 14 zum Steuern des Roboterarms 4, zum Steuern des Spektrometers 3 und zum Empfangen von Daten von dem Spektrometer 3 und zum Steuern der Abfallgebinde-Plattform 5 vorgesehen.

Fig. 2 veranschaulicht den Arbeitsbereich eines exemplarischen Roboterarms, der ein sechssachsiger Gelenk-Roboterarm 4 ist und in dieser exemplarischen Ausführungsform ein Industrie-Roboterarm Comau NJ-220-2.7 ist.

Fig. 3 zeigt die Ablage 8 zum Aufbewahren von Kollimatoren von Fig. 1 in einer ausführlicheren Darstellung.

Fig. 4 zeigt die Kopplung des ersten Flüssigstickstoffbehälters 9 und mit einer Andockstation 15, mit einer Leitung, die von der Andockstation 15 zu dem zweiten Flüssigstickstoffbehälter 10 (nicht sichtbar) führt, in einer detaillierteren Art und Weise. Befestigt an dem Roboterarm 4 (oder an dem Spektrometer 3) ist eine Einrichtung zur optischen Identifikation 12.

Fig. 5 und Fig. 6 veranschaulichen die Messung in wirkungsgradäquivalenten Geometrien. In dem Fall von Fig. 5 wird angenommen, dass es sich bei dem Abfallgebinde 2 um eine Kiste handelt. Vier Messungen werden durchgeführt, wobei sich die Detektorachse normal zu der Langseite der Kiste jeweils auf $1/2$ ihrer Höhe und bei $1/4$ und $3/4$ ihrer Länge befindet. Der Abstand von der Detektor-Endkappe zu der Kistenseite beträgt jeweils 30

cm mit dem 90°-Kollimator und 120 cm mit dem 30°-Kollimator. Es wird angenommen, dass der Füllgrad 100 % ist, wobei niedrigere tatsächliche Werte in dem Verlauf der Datenanalyse in Betracht gezogen werden. In dem Fall von Fig. 6 ist das Abfallgebinde 2 ein FIBC. Vier Messungen werden durchgeführt, wobei die Detektorachse normal zu der Seite des FIBC in der Mitte ist. Der Abstand von der Detektor-Endkappe zu der Kistenseite beträgt jeweils 40 cm mit dem 90°-Kollimator und 160 cm mit dem 30°-Kollimator. Es wird angenommen, dass der Füllgrad 60 % ist, wobei unterschiedliche tatsächliche Werte in dem Verlauf der Datenanalyse in Betracht gezogen werden.

Im Folgenden werden eine exemplarische Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung und des erfindungsgemäßen Verfahrens beschrieben:

Kurzer Überblick

Das Robotersystem für die zerstörungsfreie Analyse (NDA) von radioaktivem Abfall basiert auf einer industriellen 6-achsigen Gelenkroboter-Plattform, kombiniert mit einer dedizierten Abfallgebinde-Plattform und einem hochauflösenden HPGe-Gamma-Spektrometer. Das System ermöglicht eine Messung von Abfallgebinden, die Fässer (100 l, 200 l, 400 l), Kisten (bis zu 1200 x 800 x 800 mm), 1-m³-FIBCs und andere einschließen. Der Analysetyp kann frei definiert werden und kann von aktuell akzeptierten Protokollen wie etwa einem segmentierten Gamma-Scan (SGS) oder einem integralen Gamma-Scan (IGS) bis zu neuen Protokollen reichen, die für spezifische, nicht zylindrische Abfallgebinde entwickelt werden, z.B. eine Messung von FIBCs von allen vier Seiten und von der Oberseite her. Als ein Ergebnis der Roboterhardware-Flexibilität ist eine Rekonfiguration des Systems für eine neue Aufgabe nur eine Angelegenheit von Software-Änderungen. Außerdem kann das System, obwohl es in erster Linie auf die Abfallcharakterisierung abgestellt ist, auch für eine Freigabe (Unbedenklichkeitserklärung) konfiguriert werden, indem ein zweiter Detektor und eine Sichtfeld-Abschirmung installiert werden.

Weitere Merkmale über die Basisfunktionalität hinaus sind implementiert worden, wie etwa eine automatische Bleikollimatorauswechselung auf der Grundlage einer gemessenen HPGe-Detektortotzeit und ein automatisches Nachfüllen von flüssigem Stickstoff, durchgeführt durch den Roboter über eine Andocksta-

tion in vordefinierten Zeitintervallen. (Die Verwendung von elektrisch gekühlten HPGe-Detektoren ist ebenfalls möglich.)

EINFÜHRUNG

Eine NDA wird routinemäßig von Erzeugern von radioaktivem Abfall, von Zwischenlager- und Endlagerstätten und von zuständigen Behörden durchgeführt. Von daher sind kommerzielle NDA-Systeme nun weit verbreitet verfügbar. Aber diese sind typischerweise auf eine einzige Abfallgebindegröße und einen einzigen Analysetyp beschränkt, wie z.B. segmentierte Gamma-Scanner für die Charakterisierung von 200-l-Fässern. Jegliche Änderungen in der Abfallgebindegröße und dem Analysetyp erfordern entweder ein neues NDA-System oder eine Umarbeitung eines existierenden NDA-Systems. Die Kosten der kommerziellen NDA-Systeme tendieren dazu, ihren Einzweckmaschinen-Charakteristiken zu entsprechen, was auch für die Lieferzeit zutrifft. Das System mildert alle der oben genannten Nachteile, während es gleichzeitig neuartige Merkmale einführt.

SYSTEMBESCHREIBUNG

Das Aufbauen eines NDA-Systems um einen Industrieroboter herum bietet mehrere Vorteile im Vergleich zu einem Einzweckmaschinen-Lösungsansatz. Diese umfassen

- die Kompatibilität mit jeglichem Abfallgebindetyp und jeder Abfallgebindegröße, beschränkt nur durch den Roboter-Arbeitsbereich;

- die Fähigkeit, jeden Analysetyp durchführen zu können, und zwar existierenden oder neuartigen Messprotokollen folgend;

- die Fähigkeit, zusätzliche automatische Vorgänge durchführen zu können;

- geringere Kosten und eine kürzere Lieferzeit im Vergleich zu Einzweck-Geräten;

- die Anpassungsfähigkeit an sich ändernde betriebliche Erfordernisse;

- eine hohe Zuverlässigkeit und geringe Wartung.

Das System besteht aus einem Roboter, der ein Gamma-Spektrometer trägt, einer Abfallgebinde-Plattform, Zusatzsystemen und einem Steuer-PC, siehe Fig. 1.

Das System ermöglicht eine Messung von Abfallgebinden, die Fässer (100 l, 200 l, 400 l), Kisten (bis zu 1200 x 800 x 800 mm), 1-m³-FIBCs und andere einschließen. Der Analysetyp kann

frei definiert werden und reicht von aktuell akzeptierten Protokollen wie etwa einem segmentierten Gamma-Scan (SGS) oder einem integralen Gamma-Scan (IGS) bis zu neuen Protokollen, die für spezifische, nicht zylindrische Abfallgebinde entwickelt werden, z.B. wie dies der Fall bei dem aktuellen Gerät ist, eine Messung von FIBCs an den Achsen auf allen vier Seiten und von Kisten an den vier Achsen der vertikalen Hälften der längeren Seite.

Die typische Messsequenz startet mit der Platzierung des Abfallgebundes auf der Plattform, während sich sowohl der Roboter als auch die Plattform in ihren frei definierbaren Ausgangspositionen befinden. In der Benutzeranwendung wird eine bzw. eines von den vordefinierten Abfallgebündetypen und Messprotokollen ausgewählt. Zusätzliche Parameter, wie etwa eine Datenerfassungszeit, maximale Detektortotzeit, etc., können eingestellt werden, falls Standardwerte nicht geeignet sind. Die Messung kann dann gestartet werden. Die Plattform schwenkt sich und der Roboter bewegt sich in die Barcode-Leseposition und der Barcodeleser wird aktiviert. Zur gleichen Zeit wird das Gewicht des Abfallgebundes ermittelt. Die Plattform und der Roboter werden dann synchron bewegt und in Messpositionen angehalten, während das Gamma-Spektrometer Daten erfasst. Nach der Vollendung aller Messungen kehren die Plattform und der Roboter in die Ausgangsposition zurück und das Abfallgebinde kann abgeladen werden. Die Benutzeranwendung zeigt sowohl den Messfortschritt als auch dessen Ergebnisse an und erstellt ein Spektrum und Berichtdateien. Die Spektren können offline neu analysiert werden und/oder die Ergebnisse können einer Überwachungsanwendung zur Verfügung gestellt werden.

Roboter

Das System basiert auf einem industriellen, 6-achsigen Gelenk-Roboter des Modells NJ-220-2.7 von Comau SpA. Die wichtigsten technischen Spezifikationen des Roboters sind unten in TABELLE I gezeigt. Jeder andere geeignete 6-achsige Industrieroboter könnte verwendet werden.

TABELLE I. Comau NJ-220-2.7 Technische Spezifikationen

Spezifikation	Wert
Anzahl der Achsen	6
Maximale Gelenknutzlast (kg)	220

Zusätzliche Vorderarmlast (kg)	50
Maximale horizontale Reichweite (mm)	2701
Wiederholbarkeit (mm)	0,08
Werkzeugkupplungsflansch	ISO 9409 - 1 - A 160
Roboterengewicht (kg)	1220
Schutzart	IP65/ IP67

Die maximale Gelenknutzlast von 220 kg ist beträchtlich höher als die Masse des Spektrometers, das dieser trägt. Dies ist beabsichtigt, da eine höhere Nutzlast einem größeren Arbeitsbereich entspricht (siehe Fig. 2), die Verwendung einer zusätzlichen Detektorabschirmung und/oder von zusätzlichen Detektoren je nach Bedarf ermöglicht und sowohl die Abnutzung als auch die Wartung minimiert. Selbst bei einem Betrieb mit maximaler Last wird erwartet, dass die Abnutzung und die Wartung minimal sein werden, da der Roboter während einer typischen Analyse einige relativ geruhsame Bewegungen durchführt im Vergleich zu hundert von Hochgeschwindigkeitszyklen pro Tag in Herstellungsvorgängen, für die er in erster Linie konzipiert worden war.

Der Roboter weist ein C5G-Steuergerät mit einem TP5-Programmierhandgerät auf. Alle Roboterbewegungen können manuell von dem Programmierhandgerät aus durchgeführt werden, das auch für die Roboterprogrammierung verwendet wird.

Der Roboter ist auf einem kundenspezifischen massiven Stahlsockel montiert, der dessen effektive maximale horizontale Reichweite vergrößert.

Gamma-Spektrometer

Das Spektrometer ist ein Gerät von Canberra Industries, Inc., das einen einzigen HPGe-(Hochrein-Germanium)-Detektor GC2020, einen Big-MAC-Flüssigstickstoff-Kryostat von 7 l mit einer Haltezeit von 5 Tagen, und einen DSA-LX-Multikanal-Analysator mit digitaler Signalverarbeitung aufweist. Die Detektor-Endkappe ist in einer 5 cm dicken zylindrischen modularen Bleiabschirmung platziert. Der manuell auswechselbare Standard-Kollimator-Satz (eine konische Öffnung von 90° oder 30°) ist für eine automatische Kollimatorauswechselung modifiziert worden, siehe dazu die Zusatzsysteme. Da das aktuelle Gerät in erster Linie für die Abfallcharakterisierung ausgelegt ist, ist ein einziger HPGe-Detektor ausreichend. Aber für eine Freigabe (Un-

bedenklichkeitserklärung) oder um den Materialdurchsatz zu erhöhen, kann das System rekonfiguriert werden, indem ein zweiter HPGe-Detektor und optional eine Sichtfeldabschirmung installiert werden. Jedes andere geeignete Spektrometer kann verwendet werden.

Abfallgebinde-Plattform

Die Abfallgebinde-Plattform ist eine optionale Systemkomponente. Aber sie erweitert die Systemfunktionalität beträchtlich, indem sie ein Wiegen und eine Positionierung (Drehung) des Abfallgebundes vorsieht. Die Drehbewegung ist nahtlos in die Robotersteuerungsarchitektur als eine siebte Achse integriert. Die integrierte Waage hat eine maximale Last von 2500 ± 1 kg.

Zusatzsysteme

Weitere Merkmale über die Basis-Spektrometriefunktionalität hinaus sind implementiert worden, wie etwa ein Barcodeleser, eine automatische Kollimatorauswechselung und ein automatisches Nachfüllen von flüssigem Stickstoff.

Ein Barcodeleser vom Typ Sick AG CLV620-2000 ist an dem Detektorschild angebracht und ist dafür konfiguriert, Barcodes von vorbestimmten Positionen an den Abfallgebunden abzulesen. Wenn die Barcode-Platzierung nicht reproduzierbar ist, kann das Lesen während einer Drehung und/oder Roboterbewegung implementiert werden. Jeder andere geeignete Barcodeleser kann verwendet werden.

Abfallgebinde, die hohe Aktivitäten enthalten, können bewirken, dass die eingehende Zählrate des HPGe-Detektors den maximalen Durchsatz der Spektrometrikette überschreitet, was zu einer erhöhten Detektortotzeit und somit zu ungenauen Ergebnissen führt. Eine Vormessung des Abfallgebundes wird mit einem Kollimator mit einer 90° -Öffnung durchgeführt. Wenn die Detektortotzeit, die vorab festgelegt worden ist, überschritten wird, wird der Roboter den engeren 30° -Kollimator auswählen und eine volle Messung durchführen. Der nicht benutzte Kollimator wird in einer Ablage (Fig. 3) aufbewahrt, die zusammen mit dem Bajonettbefestigungsmechanismus für einen mechanischen Betrieb ohne die Notwendigkeit von elektrischen oder pneumatischen Elementen ausgelegt ist. Die Anzahl und der Typ von zusätzlichen Kollimatoren kann erhöht werden, falls dies notwendig ist.

Das System beinhaltet auch ein automatisches Nachfüllen von

flüssigem Stickstoff, das durch den Roboter über eine Andockstation (Fig. 4) in vordefinierten Zeitintervallen durchgeführt wird. Der Detektor und die Andockstation weisen jeweils spezielle kryogene Stecker- und Buchsenkopplungen auf. Die Füllungs- und Entlüftungskopplungen des Detektors sind jeweils mit dem Einlass und dem Auslass des HPGe-Detektor-Dewarbehälters verbunden. Die Füllungskopplung der Andockstation ist mit einem 35-l-Versorgungs-Dewarbehälter über eine Mikrodosierungspumpe vom Typ Norhof #900 verbunden, was eine effektive Haltezeit von ~25 Tagen vorsieht. Die Entlüftungskopplung der Andockstation führt einen Ablass in die Atmosphäre durch einen Pt-Widerstandssensor durch, der mit der Pumpe verbunden ist. Der Strom des flüssigen Stickstoffs wird unterbrochen, sobald der Sensor den Wechsel von gasförmigem zu flüssigem Stickstoff erfasst. Größere Versorgungs-Dewarbehälter können verwendet werden, um die effektive Haltezeit weiter auszudehnen, z.B. ~75 Tage mit einem Versorgungs-Dewarbehälter von 100 l. Jedes andere geeignete Flüssigstickstoff-Dosierungssystem kann verwendet werden. Die Verwendung von elektrisch gekühlten HPGe-Detektoren, was den flüssigen Stickstoff vollständig eliminiert, ist ebenfalls möglich.

Software

Der Steuer-PC, der mit dem C5G-Steuergerät durch ein IEEE 802.3-Kabel verbunden ist, führt die Benutzeranwendung aus, die speziell für das System entwickelt worden ist. Die Anwendung kommuniziert mit dem Roboter, der Abfallbinde-Plattform-Waage, dem Barcodeleser und dem Gamma-Spektrometer. Er sieht auch eine graphische Benutzeroberfläche GUI für den System-Setup und für den Betrieb vor. Für die Gamma-Spektrometer-Datenerfassung und -analyse integriert die Anwendung das Software-Paket Genie™ 2000 von Canberra Industries, Inc.. Genie™ 2000 kann auch eigenständig zum Beispiel für die Kalibrierung und die erneute Datenanalyse verwendet werden. Die Benutzeranwendungsarchitektur ist derart, dass jede andere kommerziell erhältliche Gamma-Spektrometrie-Hardware und -Software integriert werden kann.

Sicherheit

Der Schutz von Personal bzw. Personen ist von allergrößter Wichtigkeit in industriellen Umgebungen, die schwere automatische Maschinen wie etwa einen Industrieroboter einbeziehen. Zu-

sätzlich zu Standard-Notausschaltknöpfen an sowohl dem Steuergerät als auch an dem Programmierhandgerät ist der Umkreis des Arbeitsbereichs des Systems durch eine Lichtschranke C4000 der Sick AG geschützt. Jede andere geeignete Sicherheitsbarriere oder jeder andere geeignete Sicherheitsscanner kann verwendet werden.

DISKUSSION

Ein Robotersystem für eine zerstörungsfreie Analyse (NDA) von radioaktivem Abfall ist entworfen und hergestellt worden. Die Entwicklung und das Testen haben die erwarteten Vorteile eines Robotersystems gegenüber Einzweck-NDA-Geräten bestätigt.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Das System ist ein universelles NDA-Gerät, das bestens für Bedienpersonen bzw. Betreiber geeignet ist, die auf unterschiedliche Abfallgebinde treffen, was erfordert, dass existierende sowie auch spezialisierte Messprotokolle angewendet werden. Die Industrieroboter-Plattform ist überdimensioniert, wodurch ein wartungsfreier Betrieb und die Möglichkeit der Verwendung von weiteren Detektoren und einer Abschirmung für Freigabevorgänge (Unbedenklichkeitserklärungsvorgänge) gewährleistet werden.

PATENTANSPRÜCHE

1. Vorrichtung (1) für die zerstörungsfreie Analyse eines radioaktiven Abfallgebindes (2), die ein Spektrometer (3) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung (1) einen wenigstens vierachsigen Gelenk-Roboterarm (4) aufweist und das Spektrometer (3) an dem Roboterarm (4) befestigt ist.
2. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Roboterarm (4) ein sechssachsiger Gelenk-Roboterarm (4) ist.
3. Vorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Spektrometer (3) ein Gamma-Spektrometer (3), insbesondere ein HPGe-Gamma-Spektrometer, ist.
4. Vorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Abfallgebinde-Plattform (5) zum Halten des Abfallgebindes (2).
5. Vorrichtung (1) nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Abfallgebinde-Plattform (5) bewegbar ist.
6. Vorrichtung (1) nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Abfallgebinde-Plattform (5) Einrichtungen (11) zum Drehen des Abfallgebindes (2) aufweist.
7. Vorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Einrichtung (12) zur optischen Identifikation, insbesondere einen Barcodeleser, wobei die Einrichtung zur optischen Identifikation an dem Roboterarm (4) befestigt ist.
8. Vorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Waage (13), wobei vorzugsweise die Abfallgebinde-Plattform (5) die Waage aufweist.

9. Vorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch ein Steuergerät (14) zum Steuern des Roboterarms (4) und/oder zum Steuern der Abfallgebinde-Plattform (5).
10. Vorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Roboterarm (4) ein Befestigungsmittel (6) zum auswechselbaren Montieren wenigstens eines Kollimators (7) aufweist, und dass die Vorrichtung (1) eine Ablage (8) zum Aufbewahren von unbenutzten Kollimatoren (7'), die nicht an dem Roboterarm (4) montiert sind, aufweist.
11. Vorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Spektrometer (3) ein mit flüssigem Stickstoff gekühltes Spektrometer ist, dass der Roboterarm (4) einen ersten Flüssigstickstoffbehälter (9) aufweist und dass die Vorrichtung (1) einen zweiten Flüssigstickstoffbehälter (10) aufweist, wobei der erste und der zweite Flüssigstickstoffbehälter (9, 10) über eine Andockstation (15) miteinander verbindbar sind.
12. Vorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch ein weiteres Spektrometer (3'), wobei auch das weitere Spektrometer (3') an dem Roboterarm (4) befestigt ist.
13. Verfahren für die zerstörungsfreie Analyse eines radioaktiven Abfallgebundes (2), das die folgenden Schritte aufweist:
Bereitstellen eines radioaktiven Abfallgebundes (2),
Bewegen eines Spektrometers (3), das an einem wenigstens vierachsigen, vorzugsweise sechsachsigen, Gelenk-Roboterarm (4) befestigt ist, in eine Messposition, und
Erfassen von Messdaten mit dem Spektrometer (3).
14. Verfahren nach Anspruch 13, das die folgenden Schritte aufweist:

Platzieren des Abfallgebundes (2) auf einer Abfallgebunde-Plattform (5), insbesondere während sich der Roboterarm (4) und/oder die Abfallgebunde-Plattform (5) in einer vordefinierten Ausgangsposition befindet bzw. befinden, Auswählen von einem aus einer Gruppe von vordefinierten Abfallgebundetypen und/oder Messprotokollen in einer Benutzeranwendung, und/oder Einstellen von einem oder mehreren zusätzlichen Parametern, insbesondere der Datenerfassungszeit und/oder der maximalen Spektrometertotzeit, insbesondere wenn der Standardwert des jeweiligen zusätzlichen Parameters nicht geeignet ist, in der Benutzeranwendung.

15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, das die folgenden Schritte aufweist:
Schwenken der Plattform und/oder Bewegen des Roboterarms (4) in eine optische Identifikationsposition, insbesondere in eine Barcode-Leseposition,
Aktivieren einer Einrichtung (12) zur optischen Identifikation, insbesondere eines Barcodelesers,
Lesen eines optischen Identifikationsmerkmals mit der Einrichtung (12) zur optischen Identifikation, insbesondere eines Barcodes mit dem Barcodeleser, und/oder Ermitteln eines Gewichts des Abfallgebundes (2).
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 15, das die folgenden Schritte aufweist:
Bewegen der Abfallgebunde-Plattform (5) und des Roboterarms (4) vorzugsweise synchron, insbesondere in eine Messposition, und
Anhalten des Roboterarms (4) und der Abfallgebunde-Plattform (5) in einer Messposition, während das Spektrometer (3) Messdaten erfasst.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 16, das die folgenden Schritte beinhaltet:
Anzeigen eines Messfortschritts durch die Benutzeranwendung,
Zurückbringen der Abfallgebunde-Plattform (5) und/oder des

Roboterarms (4) in die Ausgangsposition,
Entladen des Abfallgebundes (2) von der Abfallgebunde-
Plattform (5), und/oder
Anzeigen von Messergebnissen und/oder Erstellen eines Spek-
trums und/oder Berichten von Dateien durch die Benutzeran-
wendung.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 17, das die fol-
genden Schritte aufweist:
Durchführen einer Vormessung des Abfallgebundes (2) unter
Verwendung eines ersten Kollimators (7), insbesondere eines
Kollimators mit einer 90°-Öffnung, der an dem Roboterarm
montiert ist.
Feststellen, ob eine vordefinierte Spektrometertotzeit
überschritten wird,
wenn die Spektrometertotzeit überschritten wird, Abnehmen
des ersten Kollimators (7) in eine Ablage (8) und Montieren
eines zweiten Kollimators (7'), wobei der zweite Kollimator
(7') einen engeren Öffnungswinkel als der erste Kollimator
hat, insbesondere eines Kollimators mit einer 30°-Öffnung,
wobei vorzugsweise der erste (7) und der zweite Kollimator
(7') jeweils insbesondere durch eine Bewegung des Roboter-
arms (4) und vorzugsweise durch einen Bajonettbefestigungs-
mechanismus an dem Roboterarm (4) montiert oder von diesem
abgenommen werden.
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 18, dadurch ge-
kennzeichnet, dass der Roboterarm (4) ein automatisches
Nachfüllen von Flüssigkeit für das Spektrometer (3) durch-
führt, wobei das Spektrometer (3) ein mit flüssigem Stick-
stoff gekühltes Spektrometer ist, wobei das Verfahren
vorzugsweise die folgenden Schritte aufweist:
Andocken eines ersten Flüssigstickstoffbehälters (9), den
der Roboterarm (4) aufweist, an einem zweiten Flüssigstick-
stoffbehälter (10), vorzugsweise in vordefinierten Zeitin-
tervallen, durch eine Bewegung des Roboterarms (5), und
Zufließen von flüssigem Stickstoff von dem zweiten Flüssig-
stickstoffbehälter (10) zu dem ersten Flüssigstickstoffbe-
hälter (9), und

vorzugsweise Stoppen des Zufließens von flüssigem Stickstoff, sobald ein Sensor einen Wechsel von gasförmigem zu flüssigem Stickstoff erfasst.

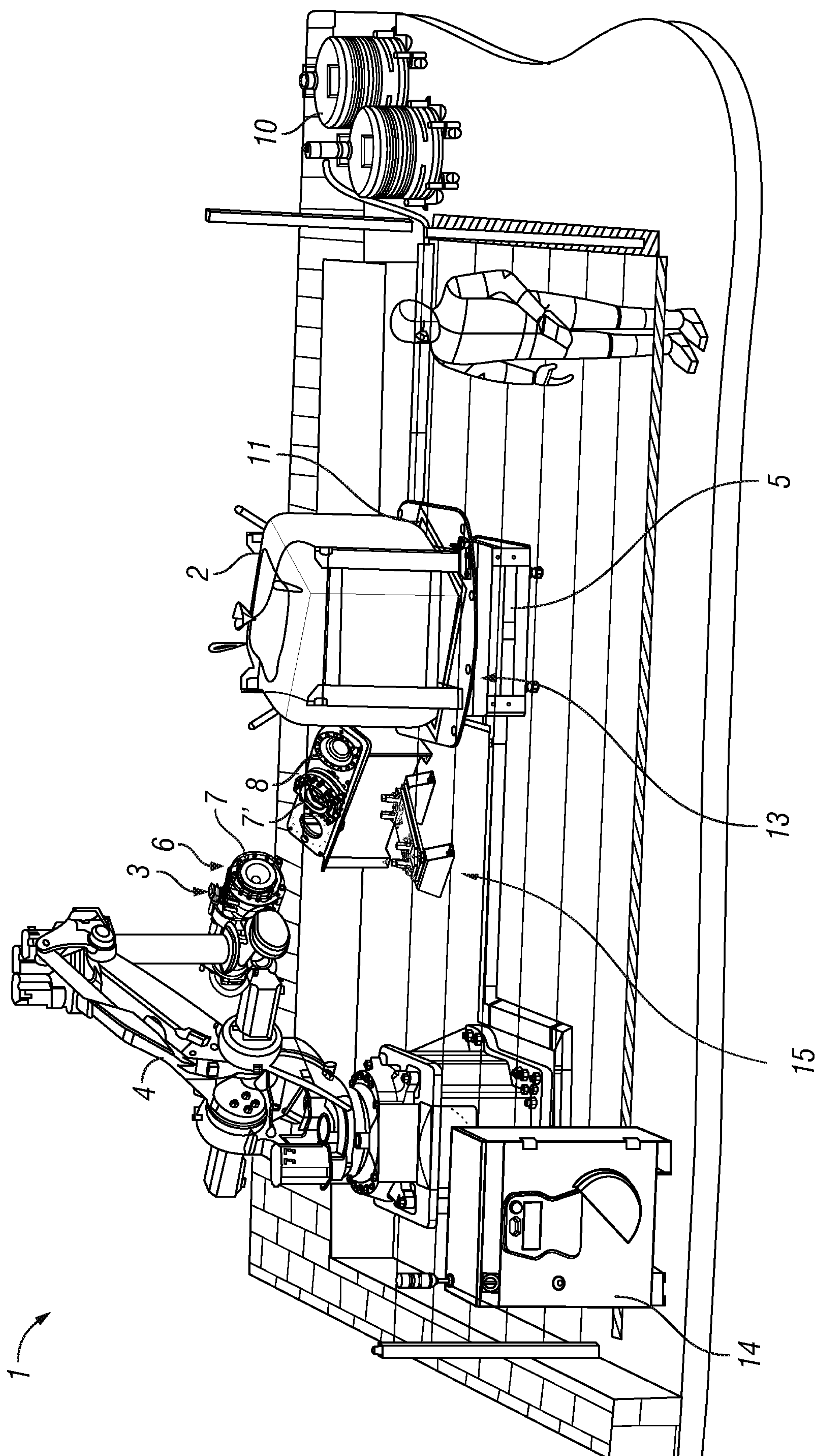


FIG. 1

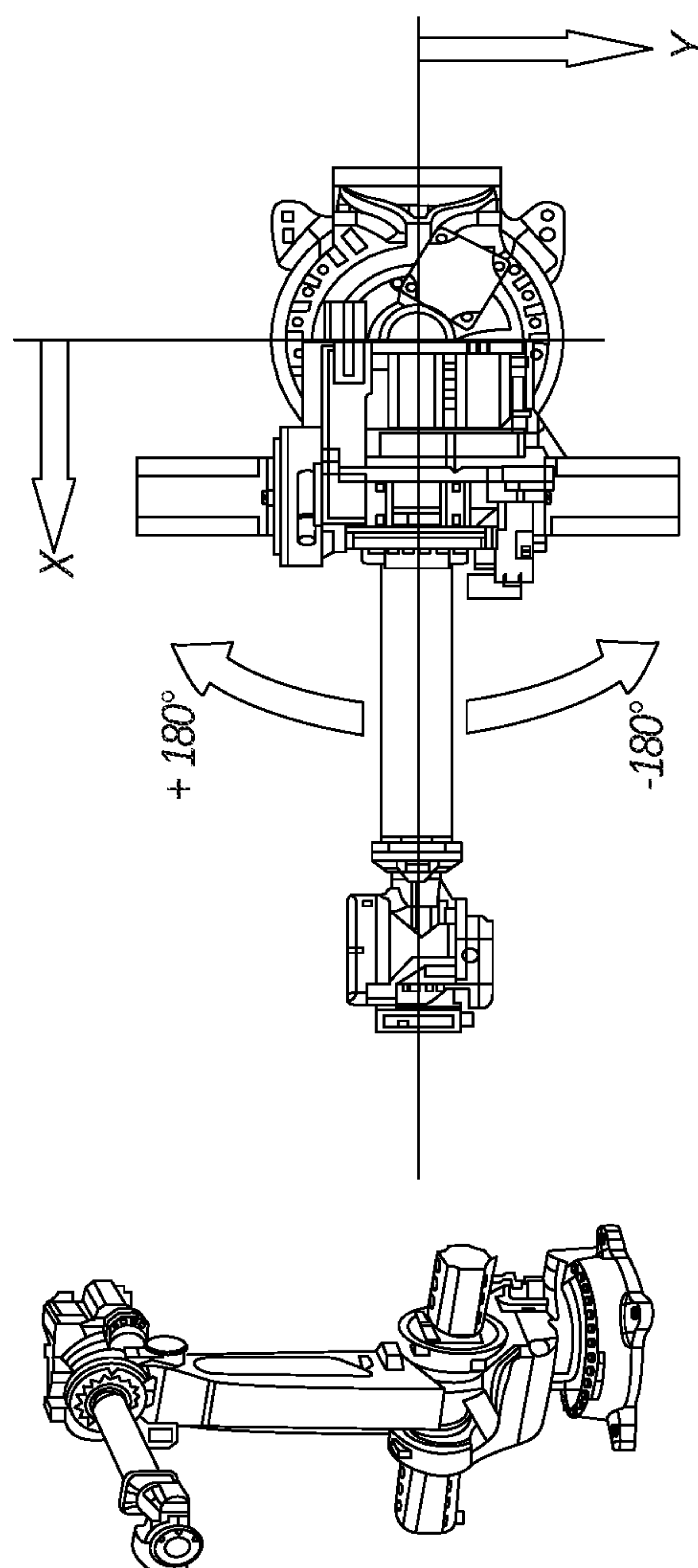
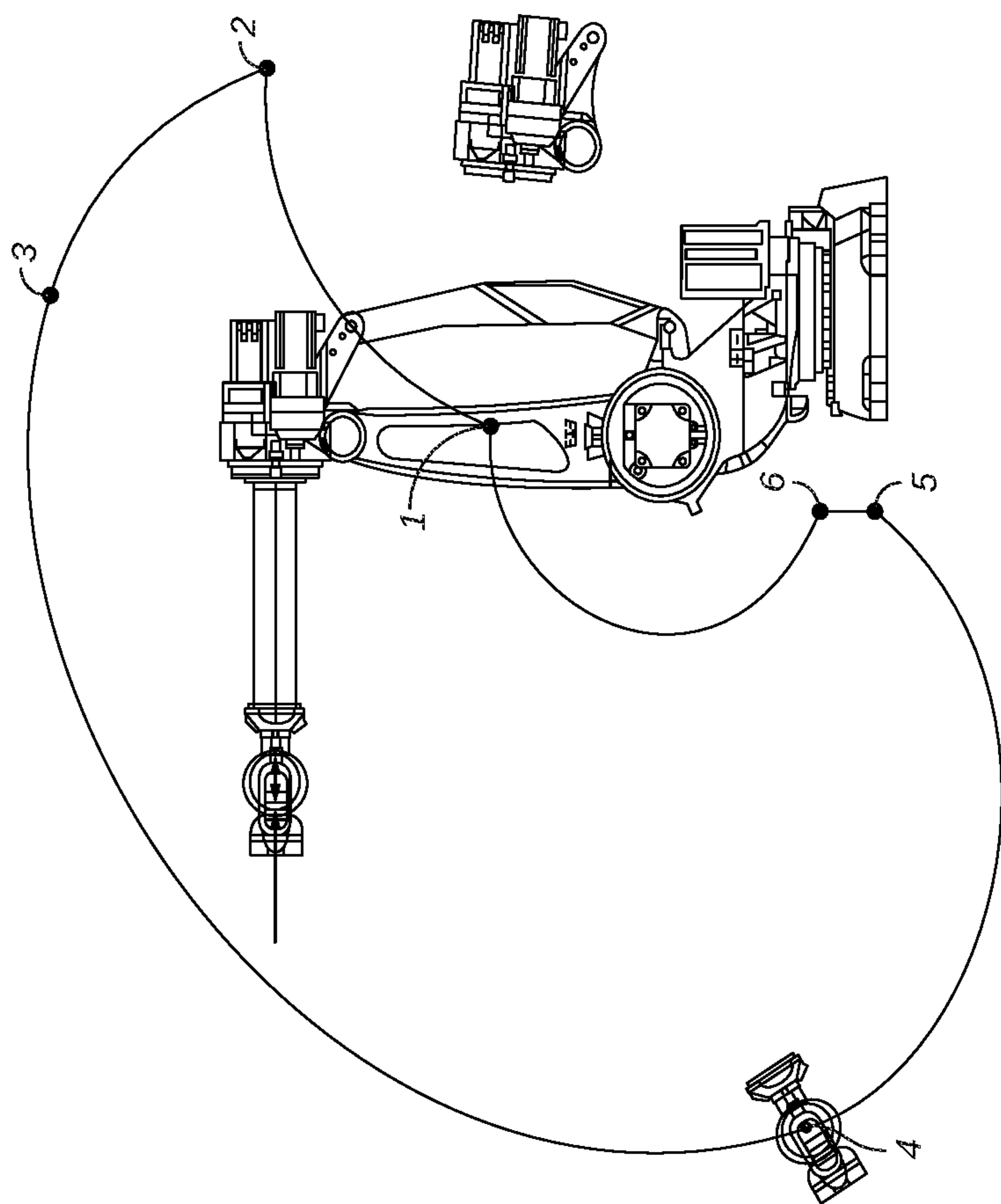
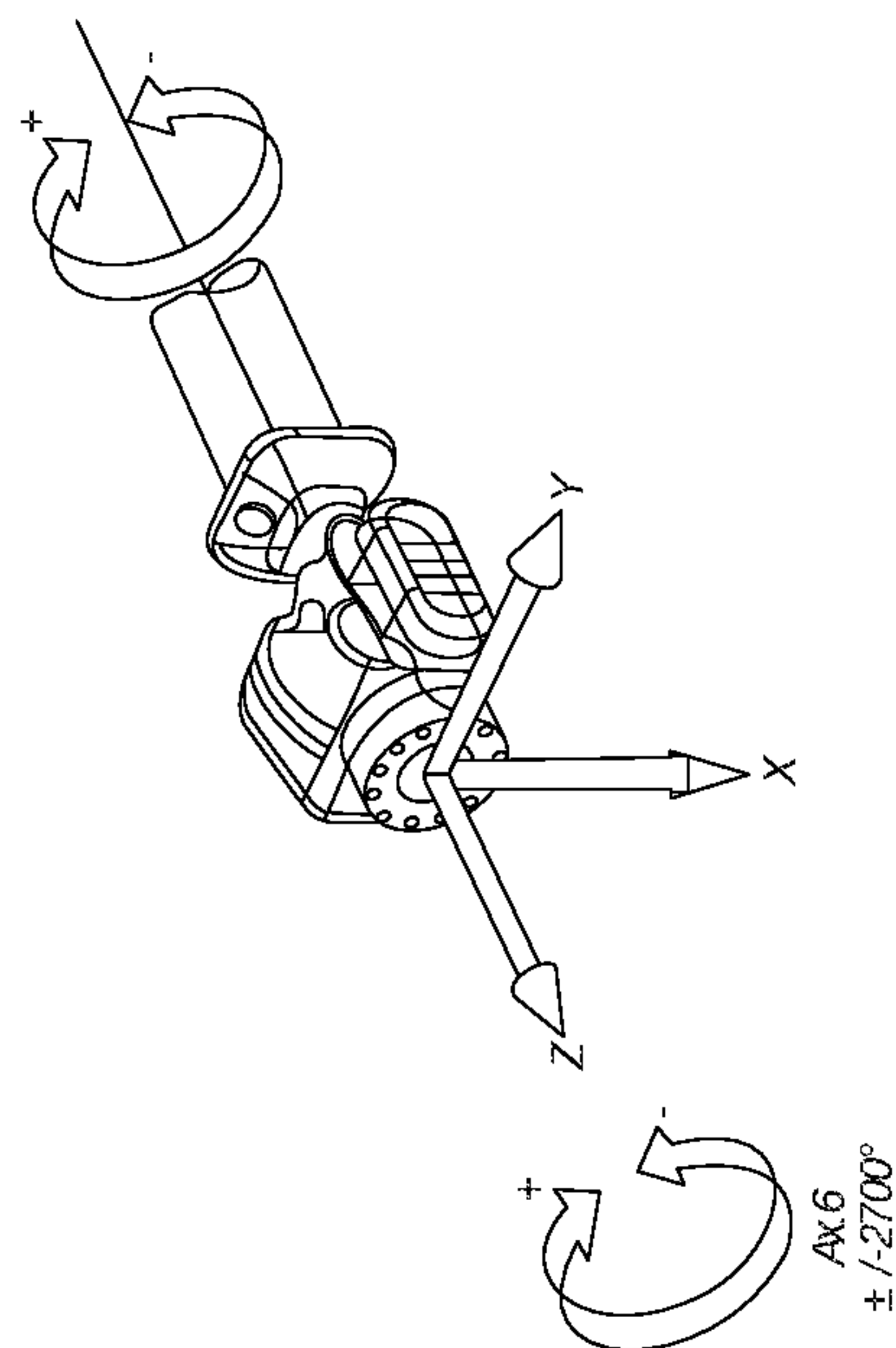
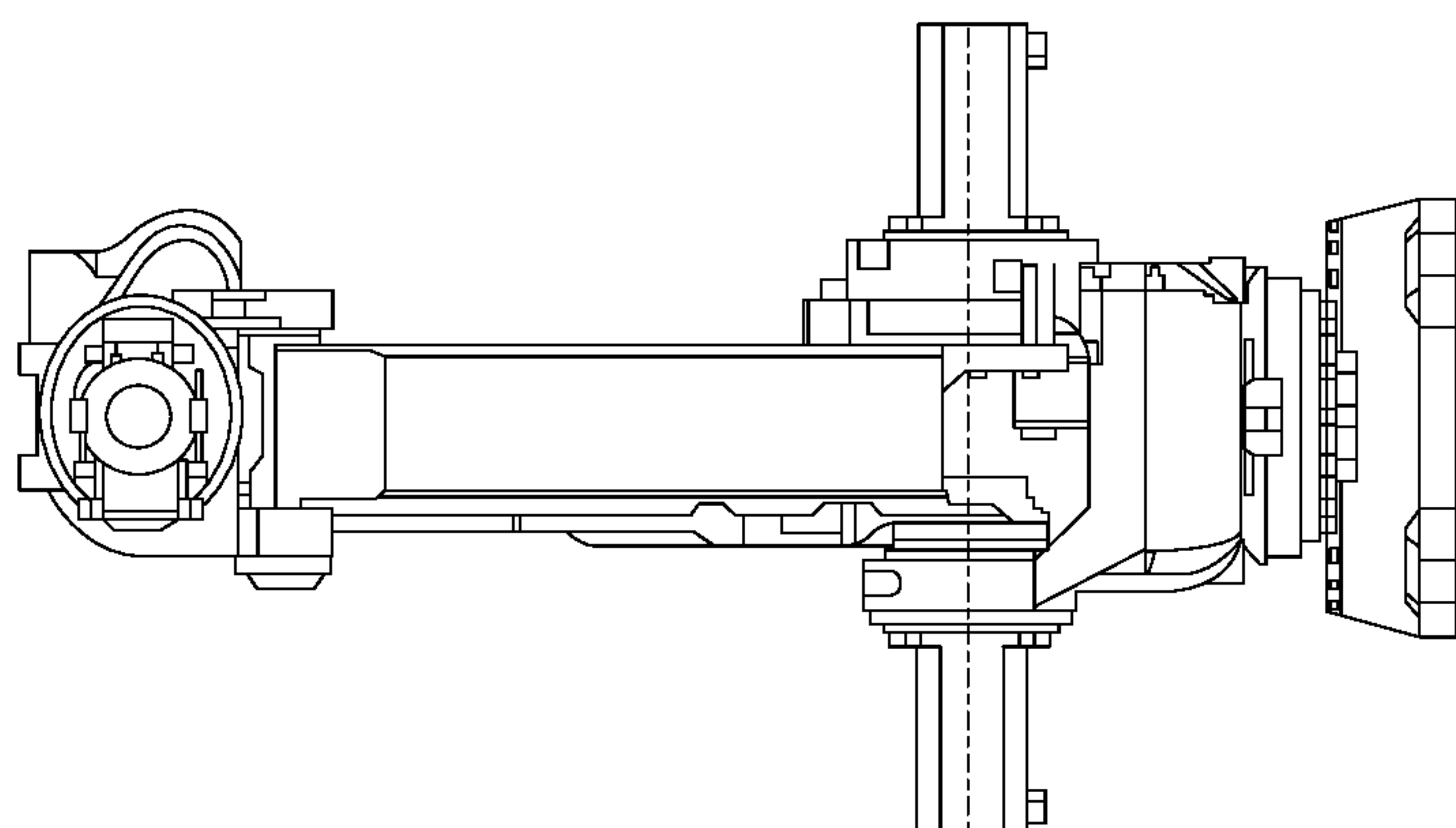
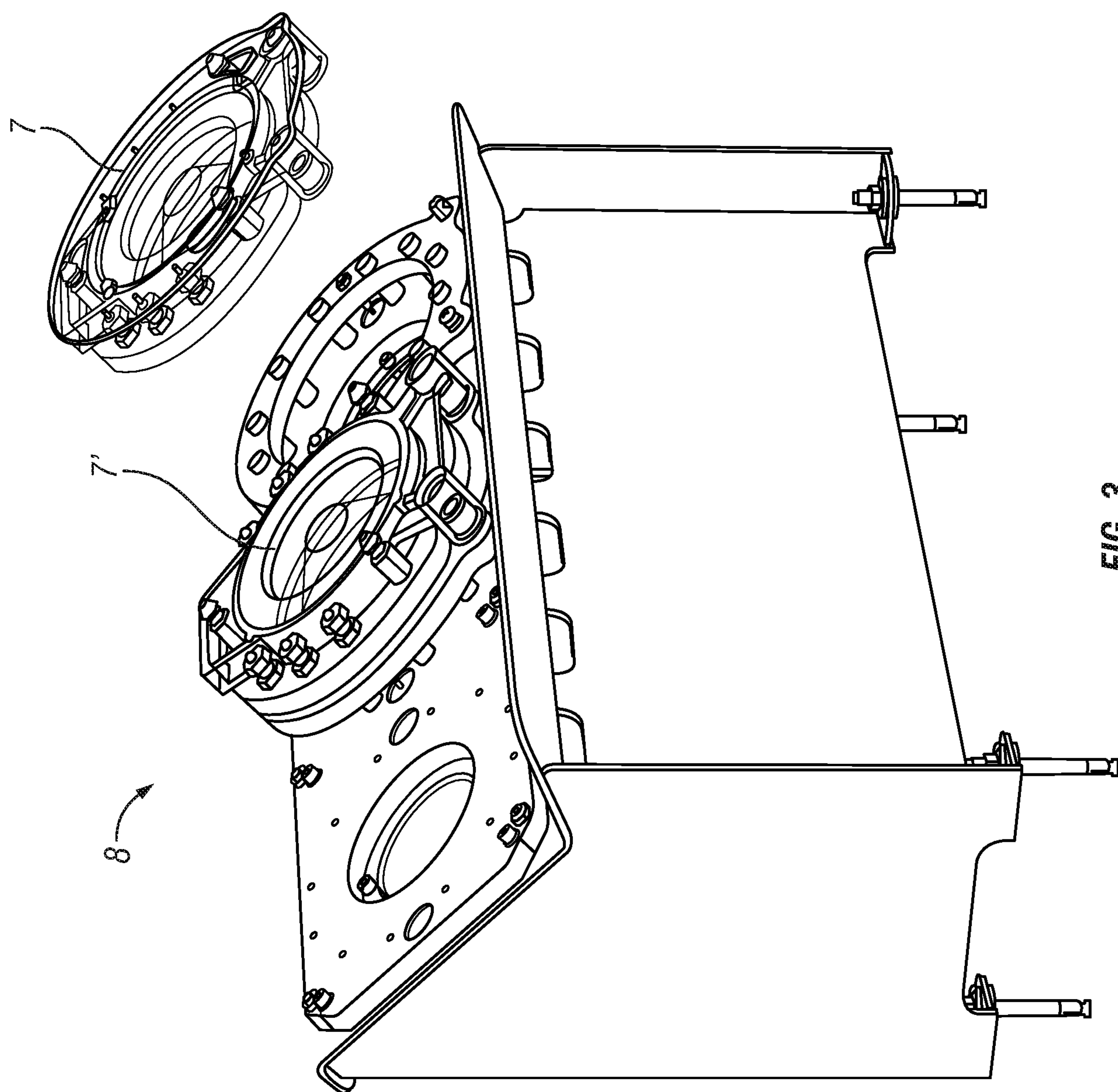
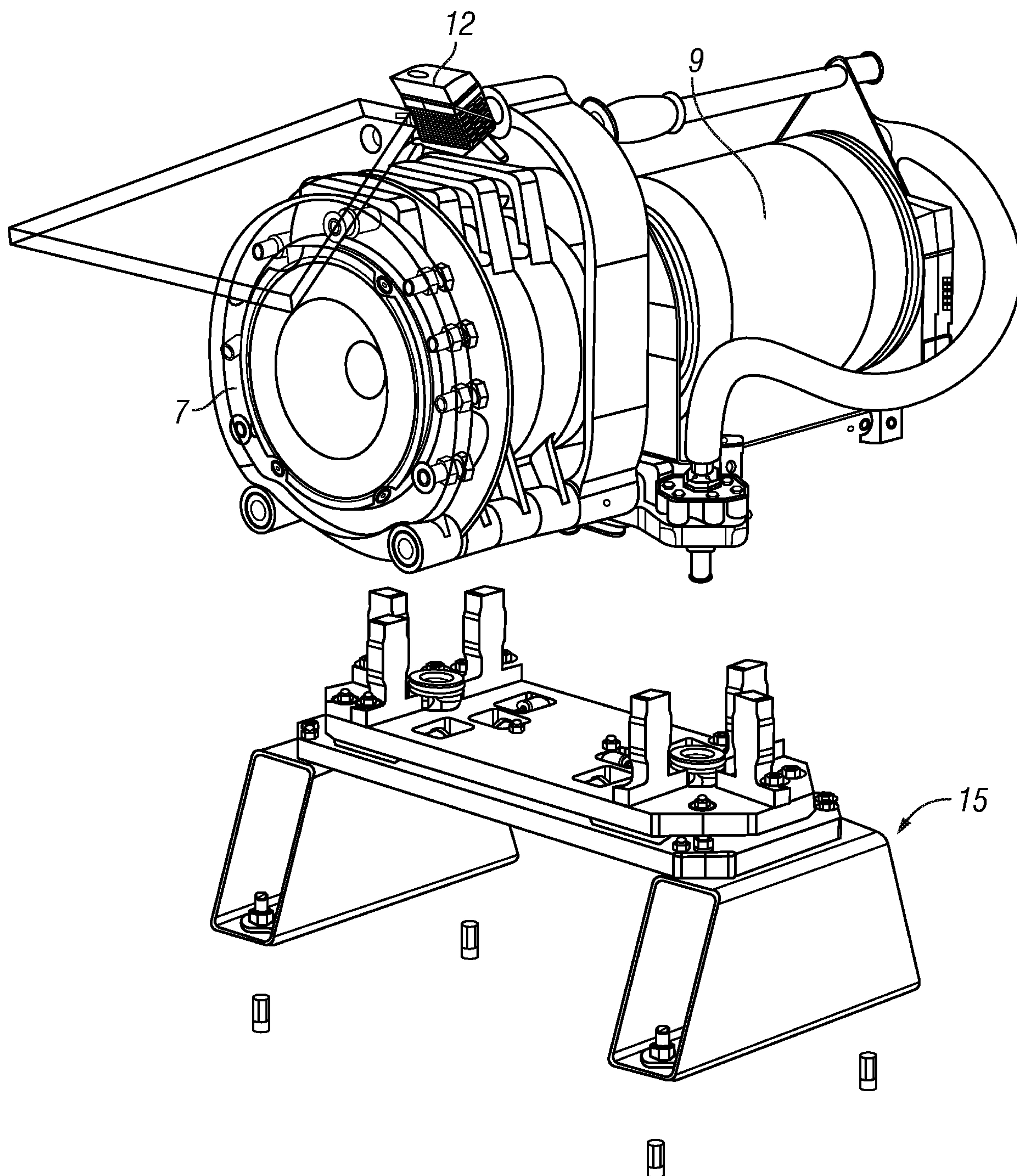
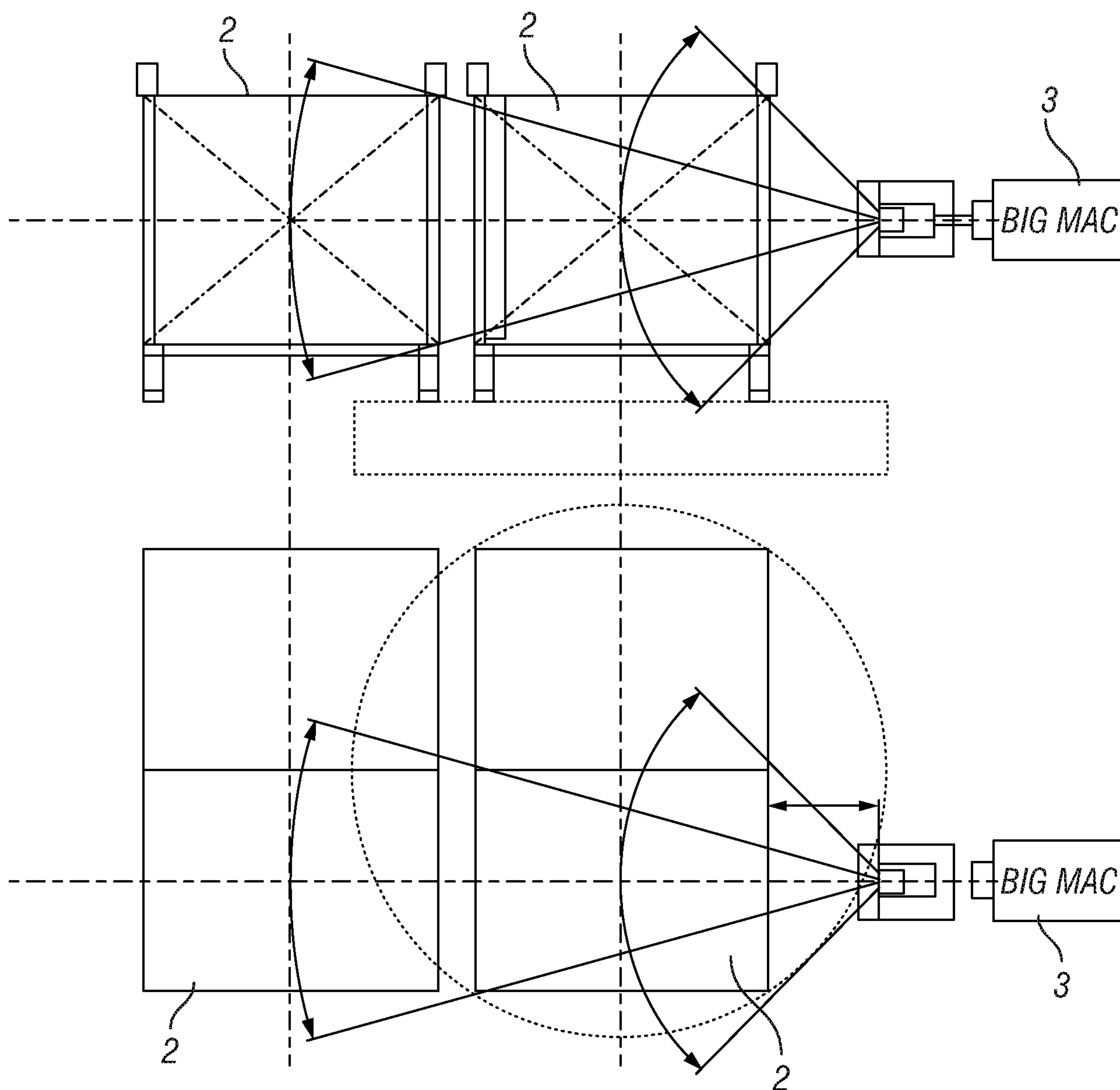
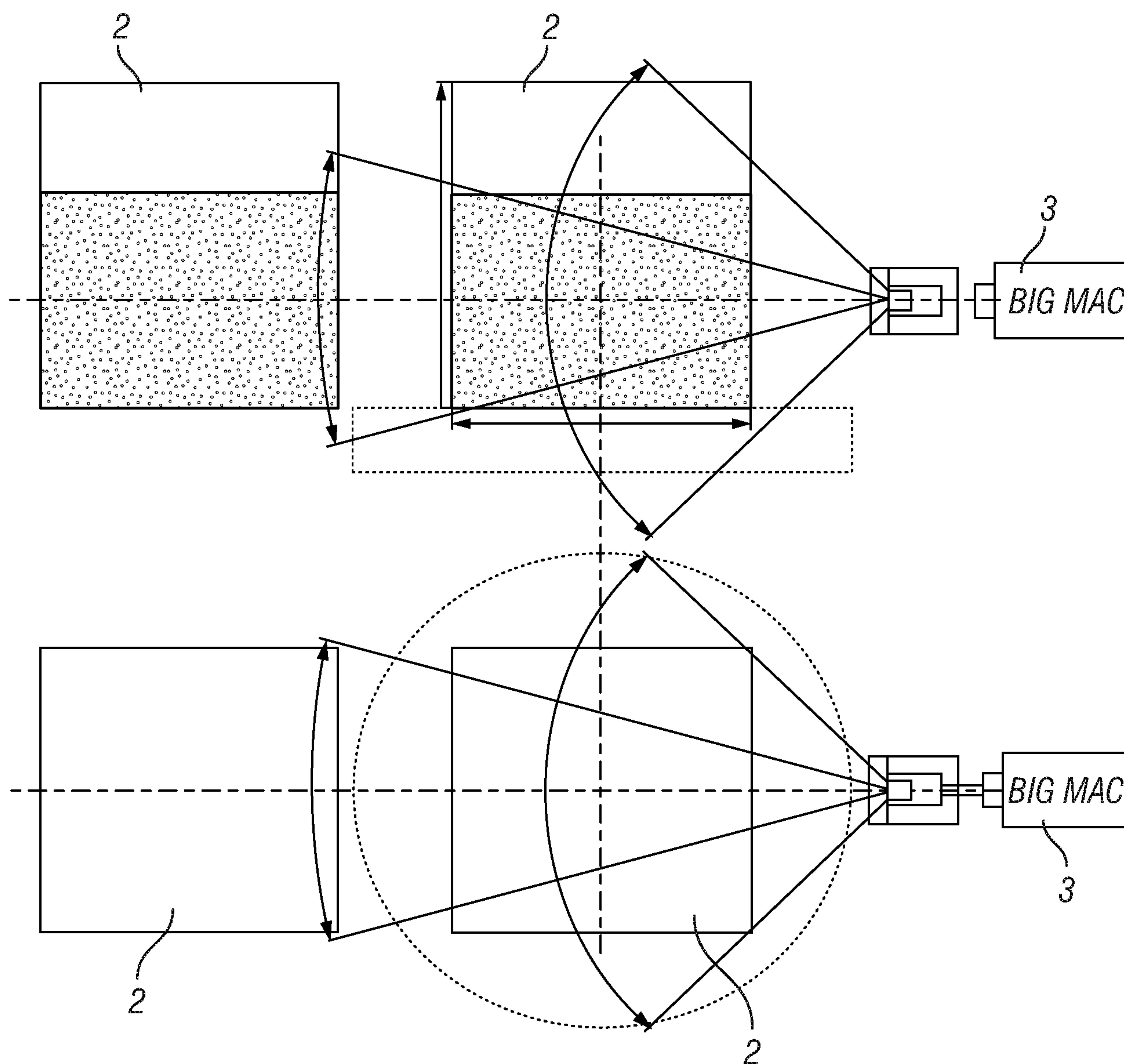


FIG. 2



**FIG. 4**

**FIG. 5**

**FIG. 6**

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC:

G21F 9/00 (2006.01); G21C 19/10 (2006.01); G01T 1/36 (2006.01)

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC:

G21F 9/00 (2013.01); G21C 19/10 (2013.01); G01T 1/36 (2013.01)

Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):

G21F, G21C, G01T

Konsultierte Online-Datenbank:

WPI, EPODOC, TXTG

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am 02.05.2019 eingereichten Ansprüchen 1-19 erstellt.

Kategorie ^{*)}	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
A	JP H02201300 A (KANSAI ELECTRIC POWER CO, et al.) 09. August 1990 (09.08.1990) Fig. 1; Anspruch 1	1, 13
A	WO 2017140870 A1 (INNOVEOX [FR]) 24. August 2017 (24.08.2017) Fig. 2; Anspruch 1	1, 13

Datum der Beendigung der Recherche:

29.11.2019

Seite 1 von 1

Prüfer(in):

FUSSY Siegfried

^{*)} Kategorien der angeführten Dokumente:

- X** Veröffentlichung **von besonderer Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.
- Y** Veröffentlichung **von Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese **Verbindung für einen Fachmann naheliegend** ist.

- A** Veröffentlichung, die den allgemeinen **Stand der Technik** definiert.
- P** Dokument, das von **Bedeutung** ist (Kategorien **X** oder **Y**), jedoch **nach dem Prioritätstag** der Anmeldung veröffentlicht wurde.
- E** Dokument, das **von besonderer Bedeutung** ist (Kategorie **X**), aus dem ein „**älteres Recht**“ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).
- &** Veröffentlichung, die Mitglied der selben **Patentfamilie** ist.