

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 837 462**

51 Int. Cl.:

G01B 11/00 (2006.01)

G01B 5/012 (2006.01)

G01B 11/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.10.2009 E 13166136 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.10.2020 EP 2623926**

54 Título: **Brazo de medición articulado con escáner láser**

30 Prioridad:

16.10.2008 US 106096 P

18.06.2009 US 487535

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

30.06.2021

73 Titular/es:

HEXAGON METROLOGY, INC. (100.0%)

250 Circuit Drive

North Kingstown RI 02852, US

72 Inventor/es:

FERRARI, PAUL

74 Agente/Representante:

ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María

ES 2 837 462 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Brazo de medición articulado con escáner láser

5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Campo de la invención

La presente invención se refiere a máquinas de medición de coordenadas y, más particularmente, a máquinas de medición de coordenadas con escáneres láser.

Descripción de la técnica relacionada

Los sistemas de medición rectilíneos, también conocidos como máquinas de medición de coordenadas (CMM) y máquinas de medición de brazo articulado, se utilizan para generar información de geometría altamente precisa. En general, estos instrumentos capturan las características estructurales de un objeto para su uso en control de calidad, renderizado electrónico y/o duplicación. Un ejemplo de un aparato convencional utilizado para la adquisición de datos de coordenadas es una máquina de medición de coordenadas portátil (PCMM), que es un dispositivo portátil capaz de tomar mediciones altamente precisas dentro de una esfera de medición del dispositivo. Tales dispositivos a menudo incluyen una sonda montada en un extremo de un brazo que incluye una pluralidad de miembros de transferencia conectados entre sí por uniones. El extremo del brazo opuesto a la sonda está típicamente acoplado a una base móvil. Típicamente, las uniones se descomponen en grados de libertad de rotación singulares, cada uno de los cuales se mide usando un transductor de rotación dedicado. Durante una medición, el operador mueve manualmente la sonda del brazo a varios puntos de la esfera de medición. En cada punto, la posición de cada una de las uniones debe determinarse en un momento dado en el tiempo. Por consiguiente, cada transductor emite una señal eléctrica que varía según el movimiento de la unión en ese grado de libertad. Típicamente, la sonda también genera una señal. Estas señales de posición y la señal de la sonda se transfieren a través del brazo a un registrador/analizador. Las señales de posición se utilizan entonces para determinar la posición de la sonda dentro de la esfera de medición. Véanse, por ejemplo, los documentos de patente de EE. UU. n.º 5.829.148 y 7.174.651.

Cada vez más, las PCMM se utilizan en combinación con un escáner óptico o láser. En tales aplicaciones, el escáner óptico o láser incluye típicamente un sistema óptico, un láser o fuente de luz, sensores y dispositivos electrónicos que están alojados en una sola caja. La caja de escáner láser está entonces, a su vez, acoplada al extremo de la sonda de la PCMM y a un lado de la sonda. Las diversas ubicaciones que existían para montar la caja de escaneo láser incluyen colocar la caja en la parte superior de la sonda, hacia delante y debajo del eje de la sonda, y/o hacia el lado de la sonda. De esta manera, los datos bidimensionales y/o tridimensionales podrían recopilarse con el escáner láser y combinarse con las señales de posición generadas por la PCMM. Véase, por ejemplo, el documento de patente de EE. UU. 7.246.030.

Aunque tales combinaciones de PCMM y escáner láser han sido útiles. Tal como se mencionó anteriormente, el propósito de las PCMM es tomar mediciones altamente precisas. En consecuencia, existe una necesidad continua de mejorar la precisión de tales dispositivos.

RESUMEN DE LA INVENCION

La presente invención proporciona una CMM de brazo articulado como se define en la reivindicación 1.

La CMM de brazo articulado puede incluir las características de cualquiera de una o más de las reivindicaciones dependientes 2 a 13.

Un aspecto de la presente invención es la realización de que tales sistemas de la técnica anterior se ven afectados por una serie de ineficiencias. Por ejemplo, los sistemas de la técnica anterior requieren típicamente un montaje cinemático repetible que permitiría que el escáner láser se retire y reemplace fácilmente del brazo. Tales soportes son genéricos para que se puedan montar muchos tipos diferentes de escáneres en la misma CMM. Estos soportes genéricos colocan el escáner láser en ubicaciones no óptimas, lo que da como resultado un rendimiento de escaneo láser menos preciso. Las diversas ubicaciones que existían para montar la caja de escaneo láser estaban en la parte superior del último eje, hacia delante y debajo del último eje, o hacia el lado del último eje, como se discutirá más adelante.

60

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Otros objetos, características y ventajas de la invención se harán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada tomada junto con las figuras adjuntas que muestran realizaciones ilustrativas de la invención, en las que:

- 5 La figura 1 es una vista en perspectiva de un brazo de CMM de realización con un escáner láser;
La figura 1A es una vista lateral del brazo de CMM de la figura 1;
La figura 1B es una vista superior del brazo de CMM de la figura 1;
La figura 2 es una vista en perspectiva de un miembro de adquisición de coordenadas del brazo de CMM de la figura 1;
- 10 La figura 2A es una vista lateral del miembro de adquisición de coordenadas de la figura 2;
La figura 2B es una vista superior del miembro de adquisición de coordenadas de la figura 2;
La figura 2C es una vista en sección transversal lateral del miembro de adquisición de coordenadas de la figura 2, en 2C-2C; la figura 2D es una vista de contorno lateral del miembro de adquisición de coordenadas de la figura 2, que indica varias dimensiones;
- 15 La figura 3 es una vista lateral en despiece del miembro de adquisición de coordenadas de la figura 2;
La figura 3A es una vista posterior de un dispositivo de detección de coordenadas sin contacto de la figura 3, en 3A-3A;
La figura 3B es una vista frontal de un cuerpo principal de un miembro de adquisición de coordenadas de la figura 3, en 3B-3B;
- 20 La figura 4A representa un miembro de adquisición de coordenadas alternativo;
La figura 4B representa una vista de contorno lateral del miembro de adquisición de coordenadas de la figura 4A, que indica varias dimensiones;
La figura 5A representa un miembro de adquisición de coordenadas alternativo;
La figura 5B representa una vista de contorno lateral del miembro de adquisición de coordenadas de la figura 5A, que indica varias dimensiones;
- 25 La figura 6A representa un miembro de adquisición de coordenadas alternativo;
La figura 6B representa una vista de contorno lateral del miembro de adquisición de coordenadas de la figura 6A, que indica varias dimensiones;
La figura 7A representa un miembro de adquisición de coordenadas alternativo;
- 30 La figura 7B representa una vista de contorno lateral del miembro de adquisición de coordenadas de la figura 7A, que indica varias dimensiones; y
La figura 7C representa una vista de contorno frontal del miembro de adquisición de coordenadas de la figura 7A, que indica varias dimensiones.

35 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES PREFERIDAS

Las figuras 1-1B ilustran una realización de una máquina de medición de coordenadas portátil (PCMM) 1 de acuerdo con la presente invención. En la realización ilustrada, la PCMM 1 comprende una base 10, una pluralidad de miembros de transferencia rígidos 20, un miembro de adquisición de coordenadas 50 y una pluralidad de miembros de articulación 30-36 que conectan los miembros de transferencia rígidos 20 entre sí. Cada miembro de articulación 30-36 está configurado para impartir uno o más grados de libertad giratorios y/o angulares. A través de los diversos miembros de articulación 30-36, la PCMM 1 se puede alinear en diversas orientaciones espaciales, permitiendo así un posicionamiento y orientación finos del miembro de adquisición de coordenadas 50 en un espacio tridimensional.

45 La posición de los miembros de transferencia rígidos 20 y el miembro de adquisición de coordenadas 50 puede ajustarse usando un procedimiento de ajuste manual, robótico, semi-robótico y/o cualquier otro procedimiento de ajuste. En una realización, la PC-MM 1, a través de los diversos miembros de articulación 30, está provista de siete ejes giratorios de movimiento. Sin embargo, se apreciará que no hay una limitación estricta a la cantidad de ejes de movimiento que se pueden usar, y se pueden incorporar menos ejes de movimiento o ejes adicionales en el diseño de PCMM.

En la realización PCMM 1 ilustrada en la figura 1, los miembros de articulación 30-36 se pueden dividir en dos grupos funcionales en función de su funcionamiento, a saber: 1) aquellos miembros de articulación 30, 32, 34, 36 que permiten el movimiento giratorio asociado con un miembro de transferencia específico (en adelante, "uniones giratorias"), y 2) aquellos miembros de articulación 31, 33, 35 que permiten un cambio en el ángulo relativo formado entre dos miembros adyacentes o entre el miembro de adquisición de coordenadas 30 y su miembro adyacente (en adelante, "uniones de bisagra"). Aunque la realización ilustrada incluye cuatro uniones giratorias y tres uniones de bisagra posicionadas para crear siete ejes de movimiento, se contempla que en otras realizaciones, el número y la ubicación de las uniones de bisagra y las uniones giratorias pueden variar para lograr diferentes características de movimiento en una PCMM. Por ejemplo, un dispositivo sustancialmente similar con seis ejes de movimiento podría simplemente carecer de la unión

giratoria 30 entre el miembro de adquisición de coordenadas 50 y el miembro de articulación adyacente 20. En aun otras realizaciones, las uniones giratorias y las uniones de bisagra pueden combinarse y/o usarse en diferentes combinaciones.

5 En diversas realizaciones, el miembro de adquisición de coordenadas 50 comprende un miembro sensible al contacto 55 (representado como una sonda dura) configurado para acoplarse a las superficies de un objeto seleccionado y generar datos de coordenadas sobre la base del contacto con la sonda, como se representa en las figuras 2-3. En la realización ilustrada, el miembro de adquisición de coordenadas 50 comprende también un componente de escaneo y detección sin contacto que no requiere necesariamente contacto directo con el objeto seleccionado para adquirir
 10 datos de geometría. Tal como se representa, el dispositivo de escaneo sin contacto comprende un dispositivo de detección de coordenadas sin contacto 60 (que se muestra como un dispositivo de detección de coordenadas láser/escáner láser) que se puede usar para obtener datos de geometría sin contacto directo con el objeto. Se apreciará que se pueden utilizar diversas configuraciones de miembros de adquisición de coordenadas que incluyen:
 15 una sonda sensible al contacto, un dispositivo de escaneo sin contacto, un dispositivo de escaneo láser, una sonda que utiliza un extensómetro para la detección de contactos, una sonda que utiliza un sensor de presión para la detección de contactos, un dispositivo que utiliza un haz infrarrojo para el posicionamiento y una sonda configurada para responder electrostáticamente para los fines de la adquisición de coordenadas. Además, en algunas realizaciones, un miembro de adquisición de coordenadas 50 puede incluir uno, dos, tres o más de tres mecanismos de adquisición de coordenadas.

20 Con referencia particular a la figura 3, en diversas realizaciones de la PCMM 1, los diversos dispositivos que se pueden utilizar para la adquisición de coordenadas, tales como el dispositivo de detección de coordenadas láser 60, se pueden configurar para desconectarse manualmente y reconectarse de la PCMM 1 de modo que un operador pueda cambiar los dispositivos de adquisición de coordenadas sin herramientas especializadas. Por lo tanto, un operador puede quitar
 25 rápida y fácilmente un dispositivo de adquisición de coordenadas y reemplazarlo con otro dispositivo de adquisición de coordenadas. Tal conexión puede comprender cualquier dispositivo de desconexión rápida o de desconexión manual. Esta capacidad de conexión rápida de un dispositivo de adquisición de coordenadas puede ser particularmente ventajosa en una PCMM 1 que se puede utilizar para una amplia variedad de técnicas de medición (por ejemplo, mediciones que requieren contacto físico del miembro de adquisición de coordenadas con una superficie
 30 seguida de mediciones que requieren solo contacto óptico del miembro de adquisición de coordenadas) en un período de tiempo relativamente corto. Aunque, como se representa, solo se retira el dispositivo de detección de coordenadas láser 60, en algunas realizaciones el miembro sensible al contacto 55 también se puede retirar y reemplazar de manera similar.

35 En la realización de la figura 2, el miembro de adquisición de coordenadas 30 comprende también botones 41, que están configurados para ser accesibles por un operador. Al pulsar uno o más de los botones 41 de forma individual, multiplicada o en una secuencia preestablecida, el operador puede introducir varios comandos a la PCMM 1. En algunas realizaciones, los botones 41 se pueden usar para indicar que una lectura de coordenadas está lista para registrarse. En otras realizaciones, los botones 41 se pueden usar para indicar que la ubicación que se mide es una
 40 posición inicial y que se deben medir otras posiciones con respecto a la posición inicial. En otras realizaciones, los botones 41 se pueden usar para registrar puntos usando el miembro sensible al contacto 55, puntos de registro usando el dispositivo de detección de coordenadas sin contacto 60 o para cambiar entre los dos dispositivos. En otras realizaciones, los botones 41 pueden programarse para satisfacer las necesidades específicas de un operador. La ubicación de los botones 41 en el miembro de adquisición de coordenadas 50 puede ser ventajosa en el sentido de
 45 que un operador no necesita acceder a la base 10 o a un ordenador para activar diversas funciones de la PCMM 1 mientras usa el miembro de adquisición de coordenadas 50. Este posicionamiento puede ser particularmente ventajoso en realizaciones de PCMM que tienen miembros de transferencia 20 que son particularmente largos, colocando así la base 10 fuera del alcance de un operador del miembro de adquisición de coordenadas 50 en la mayoría de las posiciones. En algunas realizaciones de la PCMM 1, se puede proporcionar cualquier cantidad de
 50 botones de entrada del operador (por ejemplo, más o menos que los dos ilustrados). Ventajosamente, tal como se representa, los botones 61 se colocan en el mango 40 en una posición activadora, pero en otras realizaciones puede ser deseable colocar botones en otras posiciones en el miembro de adquisición de coordenadas 50 o en cualquier lugar de la PCMM 1. Otras realizaciones de PCMM pueden incluir otros dispositivos de entrada del operador ubicados en la PCMM o el miembro de adquisición de coordenadas 50, tales como interruptores, diales giratorios o almohadillas
 55 táctiles en lugar de, o además de los botones de entrada del operador.

Con referencia particular a la figura 1, en algunas realizaciones, la base 10 puede acoplarse a una superficie de trabajo a través de un soporte magnético, un soporte de vacío, pernos u otros dispositivos de acoplamiento. Además, en algunas realizaciones, la base 10 puede comprender varias interfaces eléctricas tales como enchufes, tomas de
 60 corriente o puertos de conexión. En algunas realizaciones, los puertos de conexión pueden comprender conectividad

entre la PCMM 1 y una interfaz USB para la conexión a un procesador, tal como un ordenador de propósito general, una interfaz de alimentación de CA para la conexión con una fuente de alimentación o una interfaz de vídeo para la conexión a un monitor. En algunas realizaciones, la PCMM 1 puede configurarse para tener una conexión inalámbrica con un procesador externo o un ordenador de propósito general, tal como mediante una conexión WiFi, conexión
5 Bluetooth, conexión RF, conexión infrarroja u otro protocolo de comunicaciones inalámbricas. En algunas realizaciones, las diversas interfaces eléctricas o puertos de conexión pueden configurarse específicamente para cumplir con los requisitos de una PCMM 1 específica.

Con referencia continua a la figura 1, los miembros de transferencia 20 se construyen preferentemente de miembros
10 tubulares generalmente cilíndricos huecos para proporcionar rigidez sustancial a los miembros 20. Los miembros de transferencia 20 pueden estar hechos de cualquier material adecuado que proporcionará una extensión sustancialmente rígida para la PCMM 1. Los miembros de transferencia 20 definen preferentemente un montaje de tubo doble para proporcionar rigidez adicional a los miembros de transferencia 20. Además, se contempla que la transferencia 20 en varias otras realizaciones puede estar hecha de formas alternativas tales como aquellas que
15 comprenden una sección transversal triangular u octogonal.

En algunas realizaciones, puede ser deseable utilizar un material compuesto, tal como un material de fibra de carbono, para construir al menos una porción de los miembros de transferencia 20. En algunas realizaciones, otros
20 componentes de la PCMM 1 pueden comprender también materiales compuestos tales como materiales de fibra de carbono. Construir los miembros de transferencia 20 de compuestos tales como fibra de carbono puede ser particularmente ventajoso en que la fibra de carbono puede reaccionar menos a las influencias térmicas en comparación con materiales metálicos tales como acero o aluminio. Por lo tanto, la medición de coordenadas se puede realizar de manera precisa y consistente a diversas temperaturas. En otras realizaciones, los miembros de
25 transferencia 20 pueden comprender materiales metálicos o pueden comprender combinaciones de materiales tales como materiales metálicos, cerámicos, termoplásticos o materiales compuestos. Además, como apreciará un experto en la materia, muchos de los otros componentes de la PCMM 1 pueden estar hechos también de compuestos tales como fibra de carbono. Actualmente, como las capacidades de fabricación de compuestos generalmente no son tan precisas en comparación con las capacidades de fabricación de metales, generalmente los componentes de la PCMM
30 1 que requieren un mayor grado de precisión dimensional generalmente están hechos de metales tales como aluminio. Es previsible que como las capacidades de fabricación de los compuestos mejoraron, una mayor cantidad de componentes de la PCMM 1 pueda estar hecha también de compuestos.

Con referencia continua a la figura 1, algunas realizaciones de la PCMM 1 pueden comprender también un sistema de contrapeso 110 que puede ayudar a un operador mitigando los efectos del peso de los miembros de transferencia
35 20 y los miembros articuladores 30-36. En algunas orientaciones, cuando los miembros de transferencia 20 se extienden lejos de la base 10, el peso de los miembros de transferencia 20 puede crear dificultades para un operador. Por lo tanto, un sistema de contrapeso 110 puede ser particularmente ventajoso para reducir la cantidad de esfuerzo que un operador necesita para posicionar la PCMM 1 para una medición conveniente. En algunas realizaciones, el sistema de contrapeso 110 puede comprender unidades de resistencia (no mostradas) que están configuradas para
40 facilitar el movimiento de los miembros de transferencia 20 sin la necesidad de pesos pesados para poner en voladizo los miembros de transferencia 20. Un experto en la materia apreciará que en otras realizaciones se pueden utilizar contrapesos simples en voladizo en su lugar o en combinación con unidades de resistencia. Además, aunque como se representa, solo hay una unidad del sistema de contrapeso 110, en otras realizaciones puede haber más.

45 En algunas realizaciones, las unidades de resistencia pueden comprender unidades de resistencia hidráulica que usan resistencia a fluidos para proporcionar asistencia para el movimiento de los miembros de transferencia 20. En otras realizaciones, las unidades de resistencia pueden comprender otros dispositivos de resistencia tales como dispositivos de resistencia neumática o sistemas de resorte lineales o giratorios.

50 Como se conoce en la técnica, la posición del miembro sensible al contacto 55 en el espacio en un momento dado se puede calcular conociendo la longitud de cada miembro de transferencia rígido 20 y la posición específica de cada uno de los miembros de articulación 30-36. Cada uno de los miembros de articulación 30-36 se puede dividir en un grado de movimiento de rotación singular, cada uno de los cuales se mide usando un transductor de rotación dedicado. Cada transductor emite una señal (por ejemplo, una señal eléctrica), que varía de acuerdo con el movimiento del
55 miembro de articulación en su grado de movimiento. La señal puede transportarse a través de cables o transmitirse de otro modo a la base 10. A partir de ahí, la señal puede procesarse y/o transferirse a un ordenador para determinar la posición del miembro de adquisición de coordenadas 50 y sus diversas partes en el espacio.

En una realización, el transductor puede comprender un codificador óptico. En general, cada codificador mide la
60 posición de rotación de su eje acoplado su movimiento a un par de ruedas internas que tienen bandas transparentes

y opacas sucesivas. En tales realizaciones, la luz puede brillar a través de las ruedas en sensores ópticos que alimentan un par de salidas eléctricas. A medida que el eje recorre un arco, la salida del codificador analógico puede ser sustancialmente dos señales sinusoidales que están 90 grados fuera de fase. El posicionamiento grueso puede ocurrir a través del monitoreo del cambio en la polaridad de las dos señales. El posicionamiento fino se puede determinar midiendo el valor real de las dos señales en el instante en cuestión. En determinadas realizaciones, se puede obtener la máxima precisión midiendo la salida con precisión antes de que se corrompa por ruido electrónico. Se pueden encontrar detalles y realizaciones adicionales de la realización ilustrada de la PCMM 1 en el documento de patente de EE. UU. n. ° 5.829.148.

10 Con referencia a las figuras 1, 1A y 1B, en algunas realizaciones, la PCMM 1 puede comprender uno o más ensamblajes de sujeción giratorios 122, 124. En la realización ilustrada, la PCMM 1 puede comprender un ensamblaje de sujeción giratorio inferior 122 y un ensamblaje de sujeción giratorio superior 124. Ventajosamente, tener un ensamblaje de sujeción giratorio inferior 122 y un ensamblaje de sujeción giratorio superior 124 dispuestos en un último miembro de transferencia 21, permite que el operador use fácilmente ambas manos para posicionar la PCMM 1. En otras realizaciones, la PCMM 1 puede comprender una o más de dos sujeciones giratorias. Los detalles adicionales de los ensamblajes de sujeción se pueden encontrar en la solicitud de patente de EE. UU. n. ° 12/057,966 pendiente del solicitante, presentada el 28 de marzo de 2008.

Aunque varias realizaciones y características relacionadas de una PCMM 1 se han discutido generalmente en esta invención, se pueden encontrar detalles y realizaciones adicionales de PCMM 1 en los documentos de patente de EE. UU. n. ° 5.829.148 y 7.174.651. Aunque se discuten ciertas características a continuación con referencia a las realizaciones de una PCMM 1 descrita anteriormente, se contempla que pueden aplicarse en otras realizaciones de una PCMM, tales como las descritas en los documentos de patente de EE. UU. n. ° 5.829.148 o 7.174.651, la solicitud de patente de EE. UU. n. ° 11/963,531, presentada el 21 de diciembre de 2007, titulada "EJE DE UNIÓN MEJORADO PARA LA MÁQUINA DE MEDICIÓN DE COORDENADAS", la solicitud de patente de EE. UU. n. ° 11/943,463, presentada el 20 de noviembre de 2007, titulada "DISPOSITIVO DE MEDICIÓN DE COORDENADAS CON UNIÓN MEJORADA" y la solicitud de patente de EE. UU. n. ° 11/775,081, presentada el 9 de julio de 2007, titulada "UNIÓN PARA EL DISPOSITIVO DE MEDICIÓN DE COORDENADAS".

30 Como se representa en la figura 1, la PCMM puede incluir un miembro de adquisición de coordenadas 50 en un extremo de su brazo. Las figuras 2-3 representan el miembro de adquisición de coordenadas 50 con más detalle. Tal como se muestra, el miembro de adquisición de coordenadas 50 puede incluir un miembro sensible al contacto 55 y un dispositivo de detección de coordenadas láser 60 orientado hacia un extremo frontal 54. El miembro de adquisición de coordenadas 50 puede acoplarse además a un mango 40 en un extremo inferior 51 y la PCMM 1 en un extremo trasero 52. El miembro de adquisición de coordenadas 50 puede incluir además un extremo superior 53. En el extremo trasero 52, el miembro de adquisición de coordenadas 50 puede incluir además una conexión de datos (no mostrada) con la bisagra 31, tal como una conexión de anillo de deslizamiento, un cable directo o alguna otra conexión. Esto puede permitir la transferencia de datos entre el miembro de adquisición de coordenadas 50 y la PCMM 1. La PCMM 1 puede incluir elementos de transferencia de datos similares a lo largo de su brazo, lo que permite la transmisión de datos entre el miembro de adquisición de coordenadas 50 y la base 10, o cualquier medio informático periférico externo al brazo de PCMM.

El dispositivo de detección de coordenadas láser 60 puede incluir una fuente de luz 65 (representada como un láser) y un sensor óptico 70 (representado como una cámara), y puede adquirir datos de posición mediante un procedimiento de triangulación. El láser o fuente de luz 65 puede crear un plano láser iluminado que incluye una línea láser L4. La cámara 70 puede desplazarse desde el plano láser y además no ser paralela al plano láser. Por consiguiente, la cámara 70 verá los puntos como más altos o más bajos, dependiendo de su posición más lejos o más cerca del láser 65. De manera similar, la cámara 70 verá los puntos iluminados por el láser como si estuvieran más a la izquierda o a la derecha, de acuerdo con su posición real con respecto al láser 65. Comparar la relación geométrica entre la posición y orientación del láser 65 y la cámara 70 permitirá que un experto en la materia traduzca adecuadamente la posición de la imagen del punto iluminado por láser en la imagen capturada por la cámara 70 a una posición real en el espacio junto con la posición del miembro de adquisición de coordenadas 50 en sí mismo.

En la figura 1, una pluralidad de los ejes de movimiento están marcados de acuerdo con su proximidad al miembro de adquisición de coordenadas 50. Como se ilustra, el miembro de adquisición de coordenadas 50 puede girar alrededor de un último eje de rotación L1 en un pivote 30. El último eje de rotación L1 y el pivote 30 se representan más claramente en la figura 2C. Como se muestra, el dispositivo de detección de coordenadas láser 60 monta los rodamientos 150, 151 en un extremo del brazo de PCMM 1. La orientación y posición de los rodamientos 150, 151 pueden definir sustancialmente el último eje L1. Por lo tanto, el dispositivo de detección de coordenadas láser 60 puede girar alrededor del último eje L1, independientemente del miembro sensible al contacto (representado como

una sonda) 55. En algunas realizaciones, el miembro sensible al contacto 55 no es giratorio, lo que reduce el error potencial de cualquier excentricidad entre el miembro sensible al contacto 55 y el último eje L1. El eje giratorio 30 puede girar alrededor de un segundo a último eje de rotación L2 al final del último miembro de transferencia rígido 21 en una unión de bisagra 31. Al igual que los rodamientos 150, 151 y el último eje L1, el segundo al último eje L2 puede 5 definirse sustancialmente mediante un eje de bisagra 140. Tal como se ilustra, el último eje L1 se puede considerar también un eje de rodillo, y el segundo al último eje se puede considerar también un eje de paso. De manera similar, la rotación de alrededor de un tercio al último eje L3 se puede considerar un eje de guiñada.

El mango 40 puede comprender también generalmente un estilo de sujeción de pistola, que puede incluir además 10 ranuras ergonómicas correspondientes a dedos humanos (no mostrados).

El mango puede tener también un eje generalmente central L5. Opcionalmente, dentro del mango 40, se puede sostener una batería 42. En algunas realizaciones, el mango 40 puede incluir una batería sellada, tal como se describe en la publicación de EE. UU. n.º 2007/0256311A1, publicada el 8 de noviembre de 2007. Además, la batería 42 puede 15 insertarse a través de la parte inferior del mango 40. En otras realizaciones, la batería 42 puede insertarse a través de la parte superior del mango 40 y el mango 40 puede liberarse del miembro de adquisición de coordenadas 50 para exponer una apertura para la inserción y extracción de la batería. La batería se puede proporcionar para alimentar el escáner láser, motores de rotación alrededor de uno de los miembros de articulación 30-36 y/u otros tipos de sondas o dispositivos. Esto puede reducir el consumo de corriente a través del brazo, disminuir los requisitos generales de 20 energía y/o reducir el calor generado en varias partes del brazo.

En una realización, los datos se pueden transmitir de forma inalámbrica hacia y desde el miembro de adquisición de coordenadas 50 o el dispositivo de detección de coordenadas sin contacto 60 y la base de la PCMM 1 o a un dispositivo externo tal como un ordenador. Esto puede reducir el número de cables internos a través de la PCMM 1. También 25 puede reducir el número de cables entre la PCMM 1 y el ordenador.

Por encima del mango 40, el miembro de adquisición de coordenadas 50 puede incluir un cuerpo principal 90, representado mejor en la figura 3. El cuerpo principal 90 puede conectarse directamente a la bisagra 31 en el extremo trasero 52 del miembro de adquisición de coordenadas 50. El cuerpo principal 90 puede sostener adicionalmente el 30 miembro sensible al contacto 55. En realizaciones preferidas, el cuerpo principal 90 puede incluso sostener adicionalmente el miembro sensible al contacto 55 casi alineado con el pivote 30, de modo que un eje del miembro sensible al contacto 55 se extienda cerca del último eje L1 del pivote 30. En algunas realizaciones, el eje del miembro sensible al contacto 55 puede pasar a través del último eje L1 del pivote 30. En otras realizaciones, el eje del miembro sensible al contacto 55 puede pasar dentro de 10 mm del último eje L1, correspondiendo esta distancia a D3 35 (representada en la figura 2D).

Como se representa mejor en la figura 3B, el cuerpo principal 90 puede incluir además una porción de montaje 91, una cavidad 92 y un puerto de datos 93, configurado para interactuar con un dispositivo de detección de coordenadas láser (representado como un escáner láser) 60. El escáner láser 60, como se representa mejor en la figura 3A, puede 40 incluir un alojamiento superior 80, un láser 65 y un puerto de datos 101. Como se muestra en la figura 3, el escáner láser 60 puede configurarse para montarse en el cuerpo principal 90 como un cuerpo auxiliar (que puede incluir diferentes dispositivos en otras realizaciones). El alojamiento superior 80 puede moldearse para que coincida con la porción de montaje 91 y, en consecuencia, puede ser recibido por esa porción. La cavidad 92 se puede moldear para recibir el láser 65 cuando la porción de montaje 91 recibe el alojamiento superior 80. Tras estas interacciones, los 45 puertos de datos 93, 101 pueden interactuar para pasar información entre el cuerpo principal 90 y el escáner láser 60 (y, en consecuencia, más a lo largo del brazo de PCMM 1 como se describió anteriormente). El dispositivo de detección de coordenadas láser 60 puede incluir además una placa base 75. La placa base 75 puede incluir un puerto 85 configurado para recibir el miembro sensible al contacto 55 cuando el escáner láser 60 se monta en el cuerpo principal 90. Además, la placa base 75 puede incluir orificios de ensamblaje 104 que pueden interactuar con orificios de 50 ensamblaje 94 en el cuerpo principal 90, junto con sujetadores (no mostrados), para asegurar el cuerpo principal 90 y el escáner láser 60 juntos. Quedará claro que se pueden usar una variedad de sujetadores para conectar el cuerpo principal 90 y el escáner láser 60. Por ejemplo, en algunas realizaciones se pueden unir mediante un mecanismo de bloqueo a presión, lo que permite una fácil unión y extracción. Además, en algunas realizaciones se puede usar un montaje cinemático repetible, donde el escáner láser 60 se puede retirar y volver a montar en el cuerpo principal 90 55 sin herramientas. Se puede volver a montar con un alto nivel de repetibilidad a través del uso de un asiento cinemático de 3 puntos como se conoce en la industria.

Cuando la PCMM 1 pretende proporcionar datos de posición precisos, la PCMM puede diseñarse para minimizar los errores tanto en el miembro sensible al contacto 55 como en el dispositivo de detección de coordenadas sin contacto 60. El error del miembro de adquisición de coordenadas 50 se puede reducir minimizando el efecto de los errores de 60

los últimos tres ejes tanto en el miembro sensible al contacto 55 como en el dispositivo de detección de coordenadas sin contacto 60. El error máximo del miembro sensible al contacto 55 se puede representar en las siguientes ecuaciones como E_p , que es principalmente una función de los errores de cada uno de los últimos tres ejes (L1-L3) y las distancias desde el centro de la sonda hasta los ejes. Asimismo, el error del dispositivo de detección de
 5 coordenadas sin contacto 60 puede representarse como E_s y es principalmente una función de los errores de cada uno de los últimos tres ejes (L1-L3) y las distancias desde el punto central óptico P1 hasta los ejes.

$$E_p = (d_1 * e_1) + (d_2 * e_2) + (d_3 * e_3)$$

$$E_s = (d_1' * e_1) + (d_2' * e_2) + (d_3' * e_3)$$

10 Donde e_1 , e_2 y e_3 representan el valor absoluto del error angular en cada uno de los tres últimos ejes de rotación en los miembros de articulación 30, 31 y 32 respectivamente; y d_1 , d_2 , d_3 , d_1' , d_2' y d_3' representan la distancia desde los ejes respectivos al centro de la sonda o al punto central óptico (o enfoque láser) P1. Como se explicará con más detalle a continuación, la PCMM 1 puede mejorar la precisión del miembro de adquisición de coordenadas 50 al
 15 suministrar una geometría superior para reducir tanto los errores E_p como E_s mientras al mismo tiempo equilibra el centro de gravedad (CG) del miembro de adquisición de coordenadas 50 sobre el mango 40 y reduce la altura total del miembro de adquisición de coordenadas 50 (d_4) como se muestra en la figura 2D.

20 Cuando el escáner láser 60 monta el cuerpo principal 90, pueden surgir una variedad de propiedades geométricas entre los elementos de adquisición de coordenadas. Por ejemplo, tal como se representa en la cámara 70, el miembro sensible al contacto 55 y el láser 65 pueden integrarse directamente con el último eje L1. Por ejemplo, como se representa en la cámara 70, el miembro sensible al contacto 55 y el láser 65 pueden ser generalmente colineales cuando se ven desde la parte delantera (por ejemplo, a lo largo del eje L1), con el miembro sensible al contacto 55 en el medio y alineado con el último eje L1 (es decir, $d_1=0$). Además, tal como se representa en el alojamiento superior
 25 80, el miembro sensible al contacto 55 y el láser 65 pueden disponerse generalmente paralelos al último eje L1. Sin embargo, la cámara 70 puede orientarse en un ángulo con respecto al último eje L1 para ver el plano láser.

Tales disposiciones pueden ser ventajosas de varias maneras. Por ejemplo, en esta disposición, la posición angular de los elementos alrededor de L1 puede ser aproximadamente igual (con la excepción de un desplazamiento de 180
 30 grados cuando se encuentra en diferentes lados del último eje L1), lo que simplifica los requisitos de procesamiento de datos. Como otro ejemplo, proporcionar estos elementos alineados con el último eje L1 puede facilitar el contrapeso del peso de estos elementos alrededor del último eje, reduciendo el error de posible desviación y facilitando el movimiento alrededor del eje. Como se representa en la figura 2D, el centro de gravedad (CG) del miembro de adquisición de coordenadas 50 puede encontrarse a lo largo de L1. Aún más, el error asociado con el ángulo de
 35 rotación alrededor del último eje L1 se amplifica por la distancia perpendicular del eje al centro del plano láser emitido por el láser 65 (representado como d_1' en la figura 2D). En esta orientación, la distancia perpendicular se minimiza. En algunas realizaciones, la distancia perpendicular desde el centro del plano láser hasta el último eje no puede ser mayor que 35 mm. En particular, en otras realizaciones puede ser deseable mover el láser 65 aún más cerca del último eje L1, tal como alineándose directamente con este. Sin embargo, la precisión del miembro sensible al contacto 55
 40 depende también parcialmente de su proximidad al último eje L1; y, como se describe más adelante, pueden surgir algunas otras ventajas al separar el láser 65 de la cámara 70.

Tal como se representa adicionalmente, cuando el escáner láser 60 monta el cuerpo principal 90, el miembro sensible al contacto 55 y el dispositivo de detección de coordenadas láser 60 pueden formar un diseño compacto. Por ejemplo,
 45 el láser 65 y/o la cámara 70 pueden extenderse más allá del uno o ambos rodamientos 150, 151. Tal como se representa, el láser 65 se extiende, al menos parcialmente, más allá de los rodamientos 151 pero no de los rodamientos 150; y la cámara 70 se extiende más allá de ambos rodamientos. En otras realizaciones, estos elementos pueden extenderse a los rodamientos y no pasarlos. Generalmente, hacer que estos elementos se superpongan reduce la longitud necesaria del miembro de adquisición de coordenadas 50.
 50

En algunas realizaciones, tales diseños compactos pueden permitir que los elementos de adquisición de coordenadas estén más cerca del segundo al último eje L2, así como del último eje L1. Por consiguiente, se puede reducir la distancia entre el segundo al último eje L2 y los puntos de medición (por ejemplo, en la punta del miembro sensible al contacto 55 y/o en el PI de enfoque de la cámara 70). A medida que el error en la posición angular del miembro de
 55 adquisición de coordenadas 50 a lo largo del segundo al último eje L2 se amplifica por estas distancias, esto también reduce el error de la PCMM 1 de otras maneras. Por ejemplo, el diseño compacto puede reducir también el error relacionado con la distancia desde el PI de enfoque al tercer al último eje L3, representado como d_3' . De manera adicional, proporcionar los elementos del miembro de adquisición de coordenadas 50 más cerca del segundo y el

tercero al último eje L2, L3 puede reducir la desviación, reduciendo aún más el error.

En algunas realizaciones, el miembro sensible al contacto 55 puede estar a 185 mm del segundo y/o tercer al último eje L2, L3, y el PI de enfoque de la cámara 70 puede estar a 285 mm del tercer al último eje. Como se representa mejor en la figura 2D, el diseño compacto puede acercar adicionalmente un centro de gravedad (CG) del miembro de adquisición de coordenadas 50 a un eje central L5 del mango 40. En algunas realizaciones, la distancia entre el centro de gravedad y el eje central del mango 40 no puede ser mayor que 20 mm. Como otra ventaja más del diseño compacto, la altura vertical d4 del miembro de adquisición de coordenadas 50 puede reducirse, lo que permite la medición en puntos más ajustados. En algunas realizaciones, la altura no puede ser mayor que 260 mm. Notablemente, a medida que el miembro de adquisición de coordenadas 50 en la realización representada gira alrededor del último eje L1, la altura d4 puede representar también una longitud máxima del miembro de adquisición de coordenadas 50.

En algunas realizaciones, el escáner láser 60 puede incluir ventajas adicionales. Por ejemplo, el escáner láser 60 puede aislar el láser 65 del calor generado por las otras partes del brazo de PCMM 1. Por ejemplo, como se representa en la figura 3, una placa base 75 sostiene el láser 65 en un extremo y la cámara 70 en el otro, separados por el miembro sensible al contacto 55. En algunas realizaciones, la placa base 75 puede incluir un material con un bajo coeficiente de expansión térmica tal como Invar, Cerámica o Fibra de Carbono. Reducir la expansión térmica puede reducir los cambios en la posición y orientación del láser 65 y/o la cámara 70, lo que podría crear problemas tales como introducir errores adicionales en las mediciones. De manera similar, la placa base 75 puede incluir también un material con una conductividad térmica baja, lo que dificulta la transmisión de calor, por ejemplo, desde la cámara 70 al láser 65 o PCMM 1.

Tal como se ilustra, la cámara 70 puede sostenerse en un alojamiento superior 80 del escáner láser 60 y, en algunas realizaciones, el alojamiento superior puede incluir múltiples cámaras. El alojamiento superior 80 puede incluir materiales tales como aluminio o plástico. Además, el alojamiento superior 80 puede proteger la cámara 70 de contaminantes atmosféricos tales como polvo, líquidos, luz ambiental, etc. De manera similar, el láser 65 puede estar protegido por la cavidad 92 del cuerpo principal 90. En algunas realizaciones, la cavidad 92 puede incluir un disco o placa de aislamiento térmico con un bajo coeficiente de expansión térmica y/o conductividad, protegiendo el láser del calor externo y preservando sustancialmente su alineación.

En muchas realizaciones, los elementos electrónicos 160 asociados con el dispositivo de detección de coordenadas láser 60 pueden crear una cantidad sustancial de calor. Como se discutió anteriormente, varios componentes se pueden proteger de este calor con materiales que tienen bajos coeficientes de expansión térmica y conductividad, por ejemplo. Tal como se representa, los elementos electrónicos 160 pueden colocarse en el alojamiento superior 80 del escáner láser 60.

Sin embargo, en otras realizaciones, los elementos electrónicos 160 pueden colocarse más lejos de los sensores 55, 60, tales como en un alojamiento completamente separado. Por ejemplo, en algunas realizaciones, los elementos electrónicos 160 pueden sostenerse mediante el escáner láser 60 en un alojamiento separado, también unido a la placa base 75. En otras realizaciones, los elementos electrónicos 160 pueden ubicarse más abajo de la PCMM 1, tal como en un miembro de transferencia rígido 20 o en la base 10. Mover los elementos electrónicos 160 más abajo de la PCMM 1 puede reducir el peso al final del brazo, minimizando la desviación del brazo. De manera similar, en algunas realizaciones, los elementos electrónicos 160 pueden estar completamente fuera de la PCMM 1, tal como en un ordenador independiente. Los datos de los sensores 55, 70 se pueden transmitir a través de la PCMM 1 en un cable interno en el brazo, de forma inalámbrica o mediante otros procedimientos de transmisión de datos. En algunas realizaciones, los puertos de datos 93, 101 pueden incluir pasadores accionados por resorte de modo que no haya cables expuestos externamente.

Como otra ventaja de la realización representada, la disposición representada del sistema puede utilizar un volumen más pequeño. El dispositivo de detección de coordenadas láser 60 a veces puede funcionar sobre una teoría de triangulación. Por consiguiente, puede ser deseable dejar cierta distancia entre el láser 65 y la cámara 70. La realización ilustrada coloca ventajosamente el miembro sensible al contacto 55 dentro de este espacio, reduciendo el volumen del miembro de adquisición de coordenadas 50. Además, el último eje L1 pasa también a través de este espacio, equilibrando el sistema y reduciendo el volumen de rotación del miembro de adquisición de coordenadas 50. En esta configuración, la combinación de escáner de eje y láser se puede optimizar aún más para reducir el peso, ya que el diseño más compacto reduce la desviación y, en consecuencia, reduce la necesidad de materiales de carga pesada.

Para ilustrar adicionalmente las ventajas de las realizaciones descritas anteriormente, las figuras 4-7 representan

- configuraciones modificadas en las que el escáner láser y/o el sensor de imagen se colocan en diferentes ubicaciones. En las figuras 4A, 4B, el escáner está centrado en el último eje, desplazando el miembro sensible al contacto, y está más adelante. Por consiguiente, $d1'$ se ha reducido a cero, pero $d1$ ha aumentado, esencialmente transfiriendo error desde el dispositivo de medición sin contacto al dispositivo de medición de contacto. Adicionalmente, en esta
- 5 realización, ambos dispositivos de medición 55, 60 están más alejados del segundo y el tercero al último eje L2, L3, aumentando $d2$, $d2'$, $d3$ y $d3'$. Aún más, a medida que el centro de gravedad CG se desplaza hacia delante, lejos del eje del mango L5, el miembro de adquisición de coordenadas puede ser más difícil de manejar ya que $d5$ es más grande y puede sufrir además una mayor desviación.
- 10 En las figuras 5A, 5B, el escáner está por encima del último eje. Por consiguiente, hay una gran distancia entre el último eje y el área de láser ($d1'$), así como una longitud máxima mayor $d4$ del miembro de adquisición de coordenadas 50. Además, desplazar el centro de gravedad CG del último eje L1 puede dificultar la maniobrabilidad del miembro de adquisición de coordenadas 50. Además, el escáner está ligeramente más hacia delante, aumentando la distancia desde el PI de enfoque hasta el segundo y el tercero hasta el último eje ($d3'$).
- 15 En las figuras 6A, 6B, el escáner se encuentra más adelante y por debajo del último eje. En consecuencia, hay una gran distancia entre el último eje y el área del láser ($d1'$) y una distancia igualmente grande entre el segundo y el tercer eje al último eje y el foco PI del escáner ($d3'$). Además, el centro de gravedad CG se desplaza desde el último eje L1 y el mango ($d5$), lo que dificulta la maniobrabilidad del miembro de adquisición de coordenadas 50.
- 20 En la figura 7A, 7B, 7C, con el escáner apagado al lado del último eje, hay una gran distancia entre el último eje y el área de láser ($d1'$), y una gran distancia entre el segundo y el tercer eje hasta el último eje y el foco PI del escáner ($d3'$). Además, desplazar el centro de gravedad CG desde el último eje L1 y el eje del mango L5 puede dificultar la maniobrabilidad del miembro de adquisición de coordenadas 50.
- 25 Los diversos dispositivos, métodos, procedimientos y técnicas descritos anteriormente proporcionan varias formas de llevar a cabo la invención.

REIVINDICACIONES

1. Una CMM de brazo articulado que comprende:
- 5 un brazo articulado (1) que comprende:
- una pluralidad de miembros de brazo articulados (20),
una base (10) en un extremo proximal, y
un primer cuerpo (90) en un extremo distal del brazo articulado, comprendiendo el primer cuerpo (90):
- 10 una porción de montaje (91);
un puerto de datos (93); y
una sonda de medición (55);
- 15 un dispositivo de detección de coordenadas sin contacto (60) que comprende:
- una placa base (75);
una fuente de luz (65) en un extremo de la placa base;
un sensor óptico (70) en el otro extremo de la placa base;
- 20 un puerto de datos (101) configurado para interactuar con el puerto de datos (93) del primer cuerpo (90); y
elementos electrónicos (160) asociados con al menos la fuente de luz (65) y el sensor óptico (70);
- donde:
- 25 los elementos electrónicos (160) están colocados en un alojamiento independiente de al menos la sonda de
medición (55) y la fuente de luz (65);
la porción de montaje (91) y el puerto de datos (93) del primer cuerpo (90) están configurados para interactuar
con el dispositivo de detección de coordenadas sin contacto (60); y
- 30 el dispositivo de detección de coordenadas sin contacto es extraíble de la porción de montaje (91) y se puede
volver a montar a la porción de montaje (91) sin el uso de herramientas.
2. La CMM de brazo articulado de la reivindicación 1, donde la fuente de luz (65) es un láser.
3. La CMM de brazo articulado de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el alojamiento
- 35 independiente está unido a la placa base (75).
4. La CMM de brazo articulado de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde los elementos
electrónicos (160) están dispuestos en la base (10).
- 40 5. La CMM de brazo articulado de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde los elementos
electrónicos (160) están dispuestos en un miembro de brazo articulado (20).
6. La CMM de brazo articulado de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde los elementos
electrónicos (160) están dispuestos en un alojamiento superior (80) acoplado con la placa base (75).
- 45 7. La CMM de brazo articulado de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el primer cuerpo
(90) incluye múltiples sensores ópticos (70) dispuestos en un alojamiento superior (80).
8. La CMM de brazo articulado de la reivindicación 6, donde el alojamiento superior (80) protege los
- 50 sensores ópticos (70) de contaminantes atmosféricos.
9. La CMM de brazo articulado de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el láser o fuente de
luz (65) y el sensor óptico (70) están montados en la placa base (75).
- 55 10. La CMM de brazo articulado de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la placa base (75)
comprende un material con una conductividad térmica baja.
11. La CMM de brazo articulado de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la placa base (75)
está configurada para montarse de forma giratoria en la sonda (55).
- 60

12. La CMM de brazo articulado de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el dispositivo de detección de coordenadas sin contacto se puede extraer de la porción de montaje (91) y se puede volver a montar en la porción de montaje (91) mediante el uso de un montaje cinemático.
- 5 13. La CMM de brazo articulado de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el primer cuerpo (90) comprende además una cavidad (92), donde la cavidad (92) tiene forma para recibir la fuente de luz (65) cuando la porción de montaje (91) recibe el dispositivo de detección de coordenadas sin contacto (60).

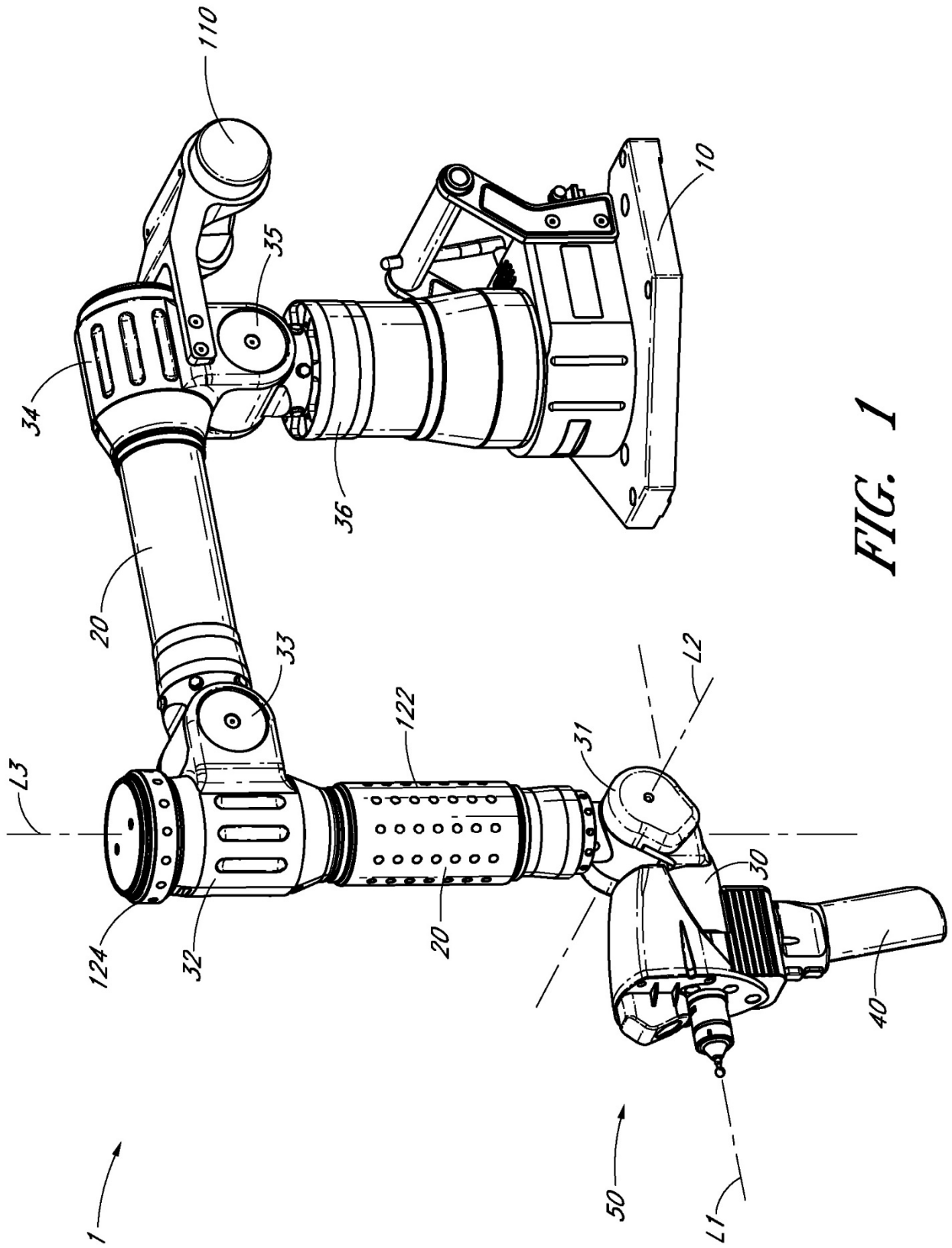


FIG. 1

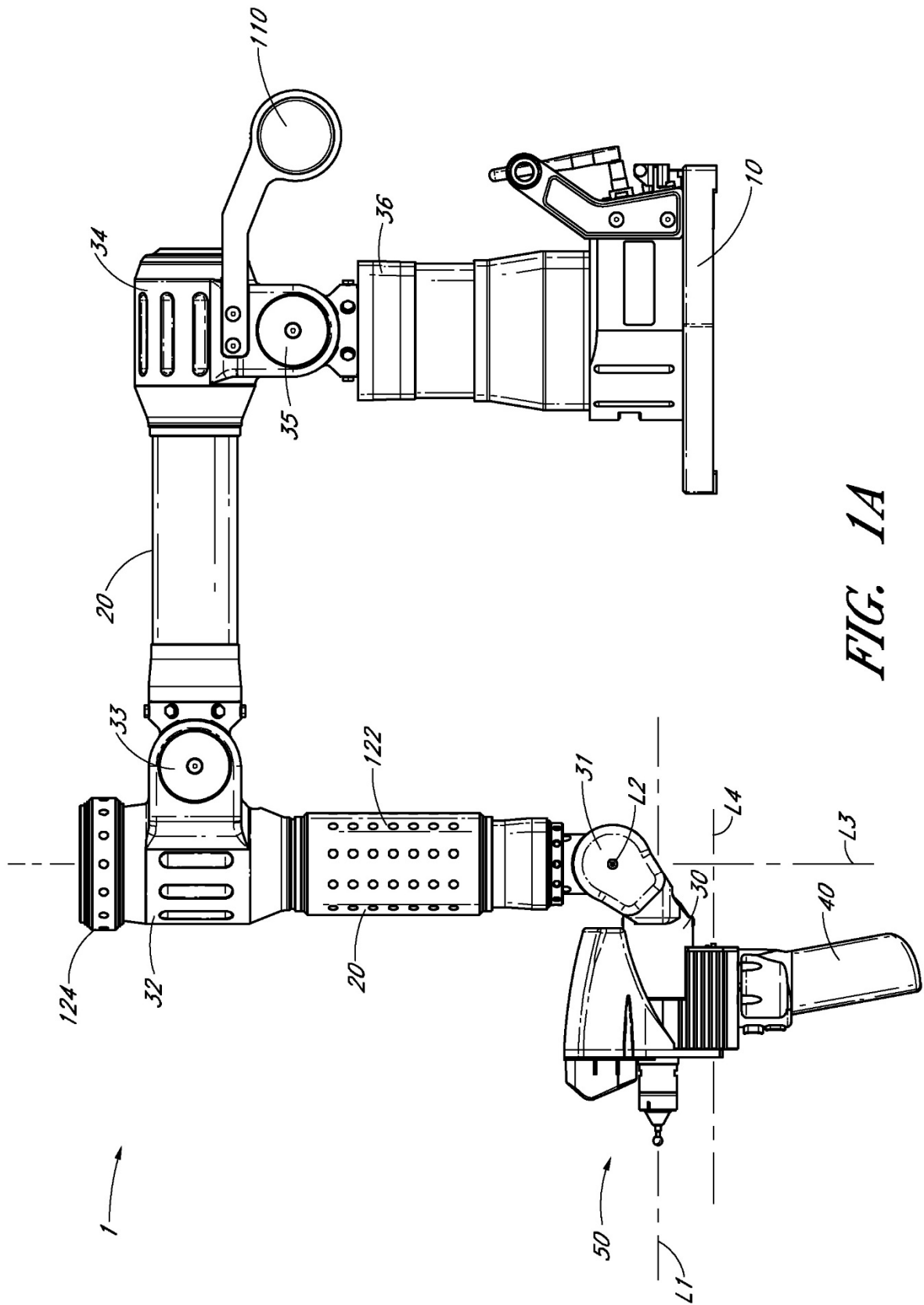


FIG. 1A

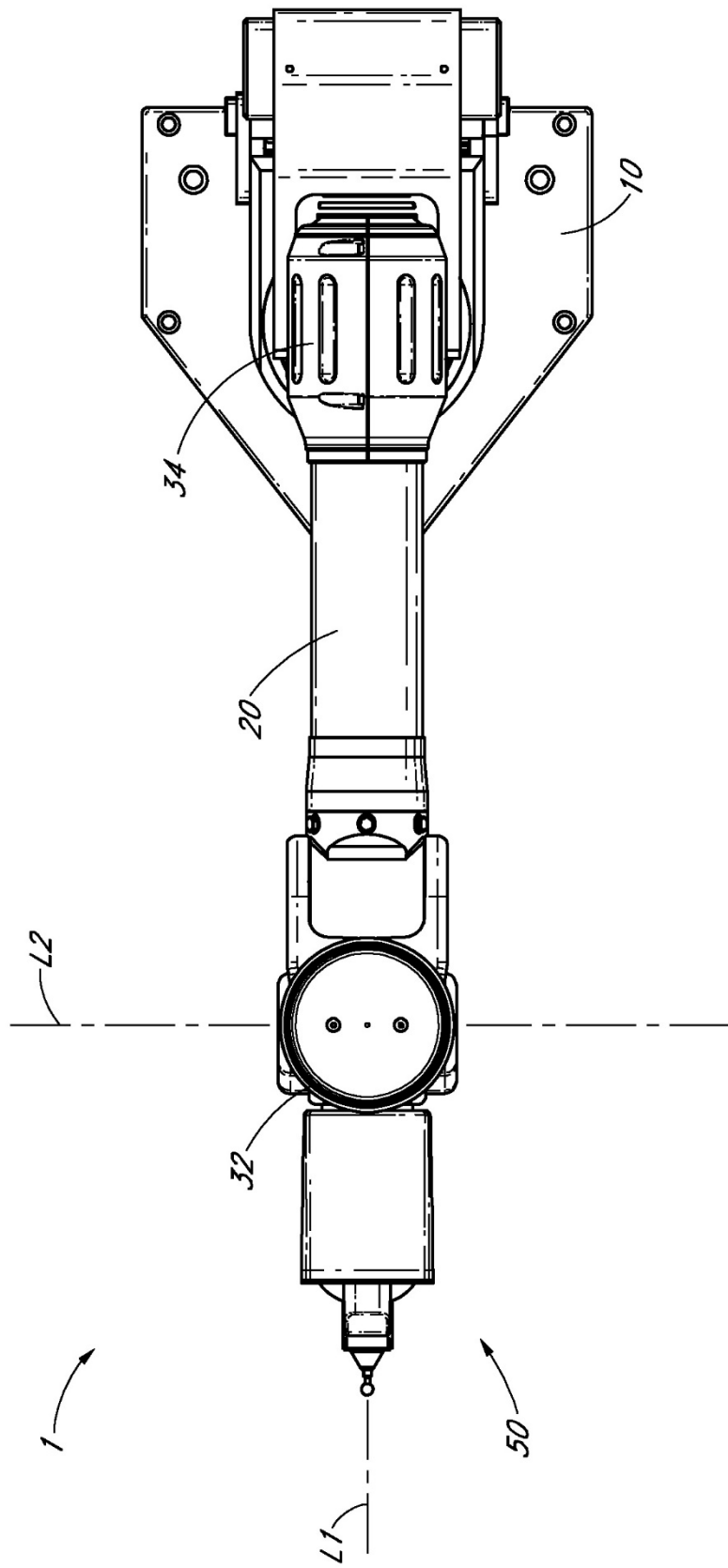


FIG. 1B

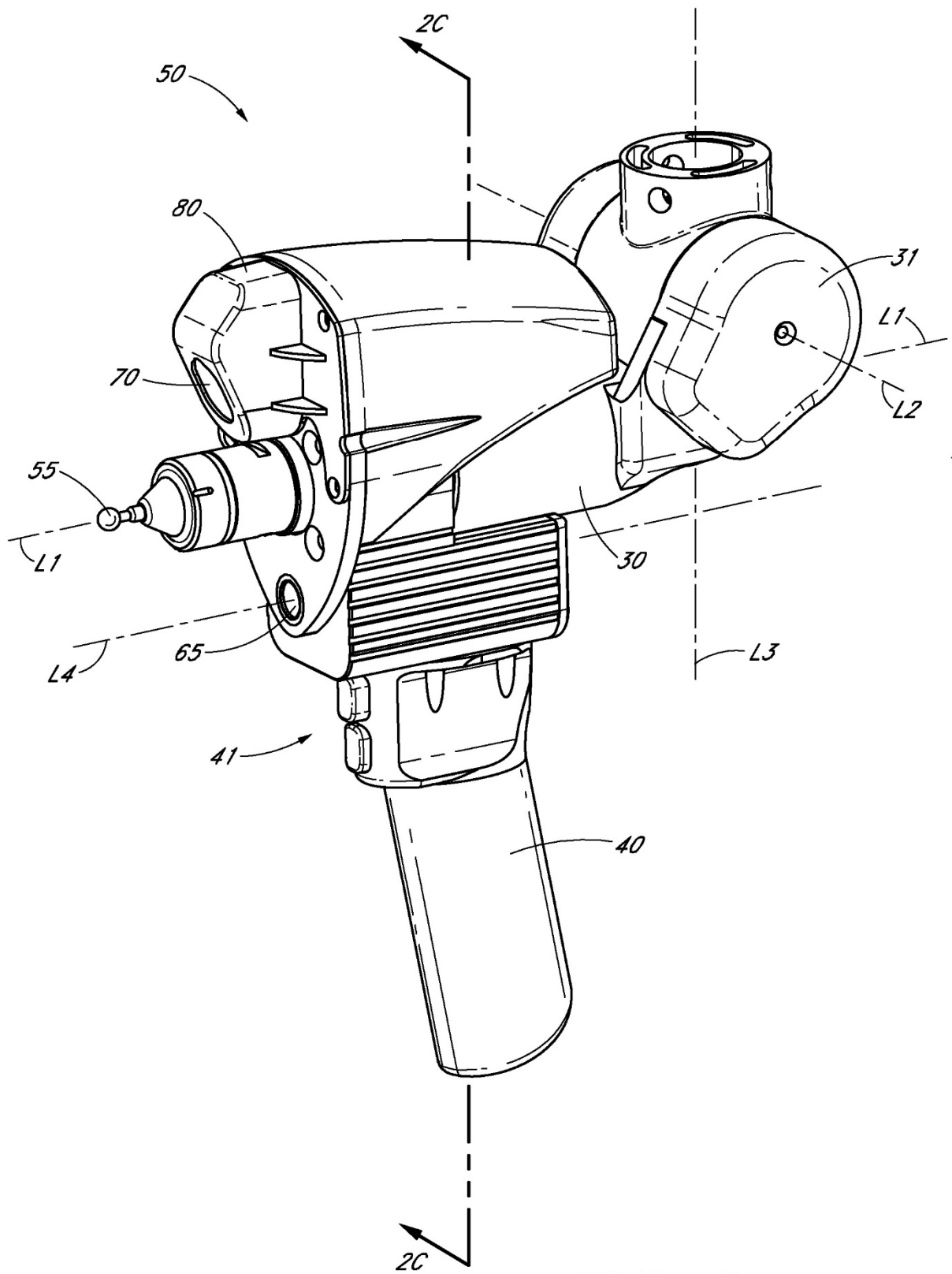


FIG. 2

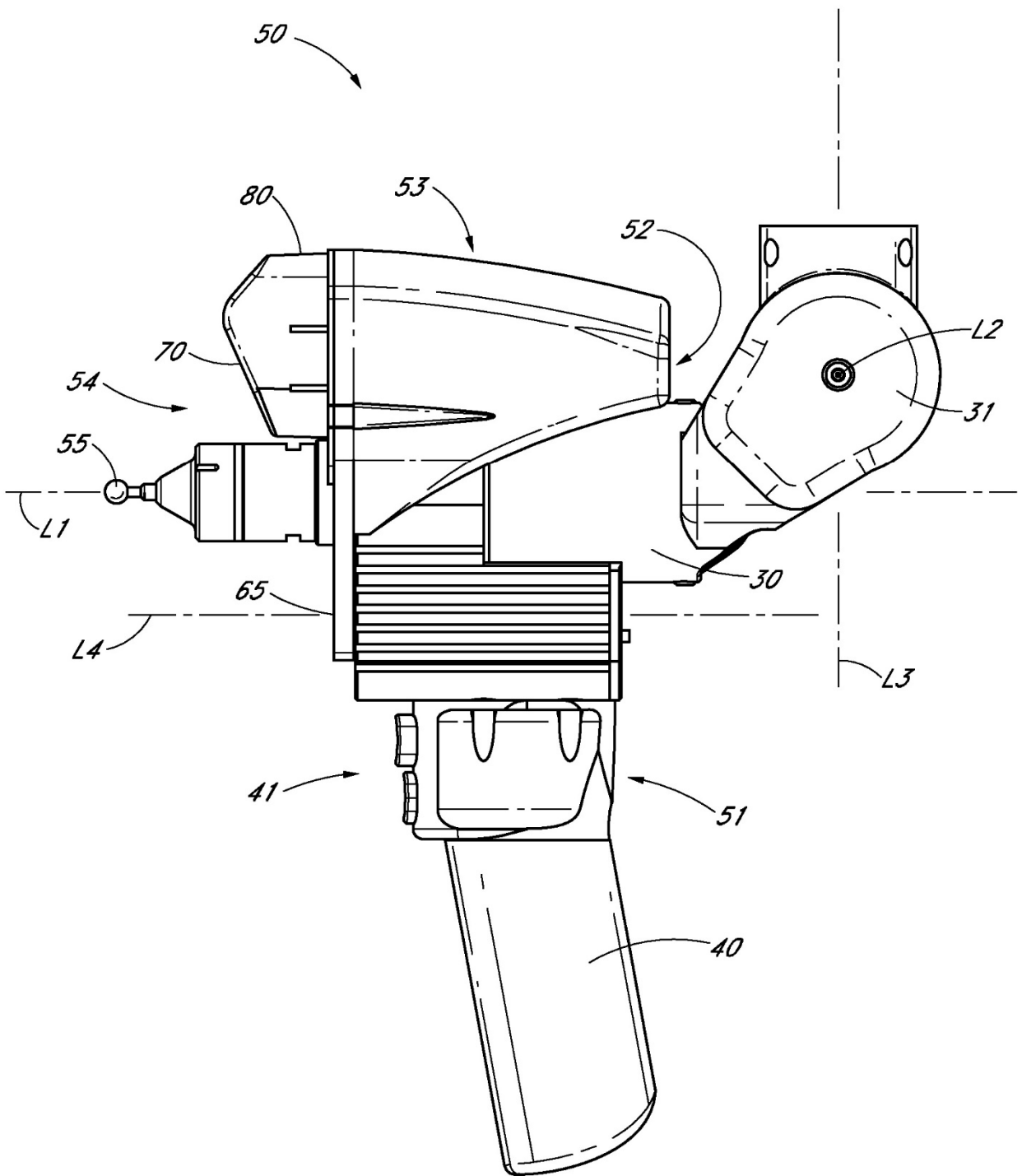


FIG. 2A

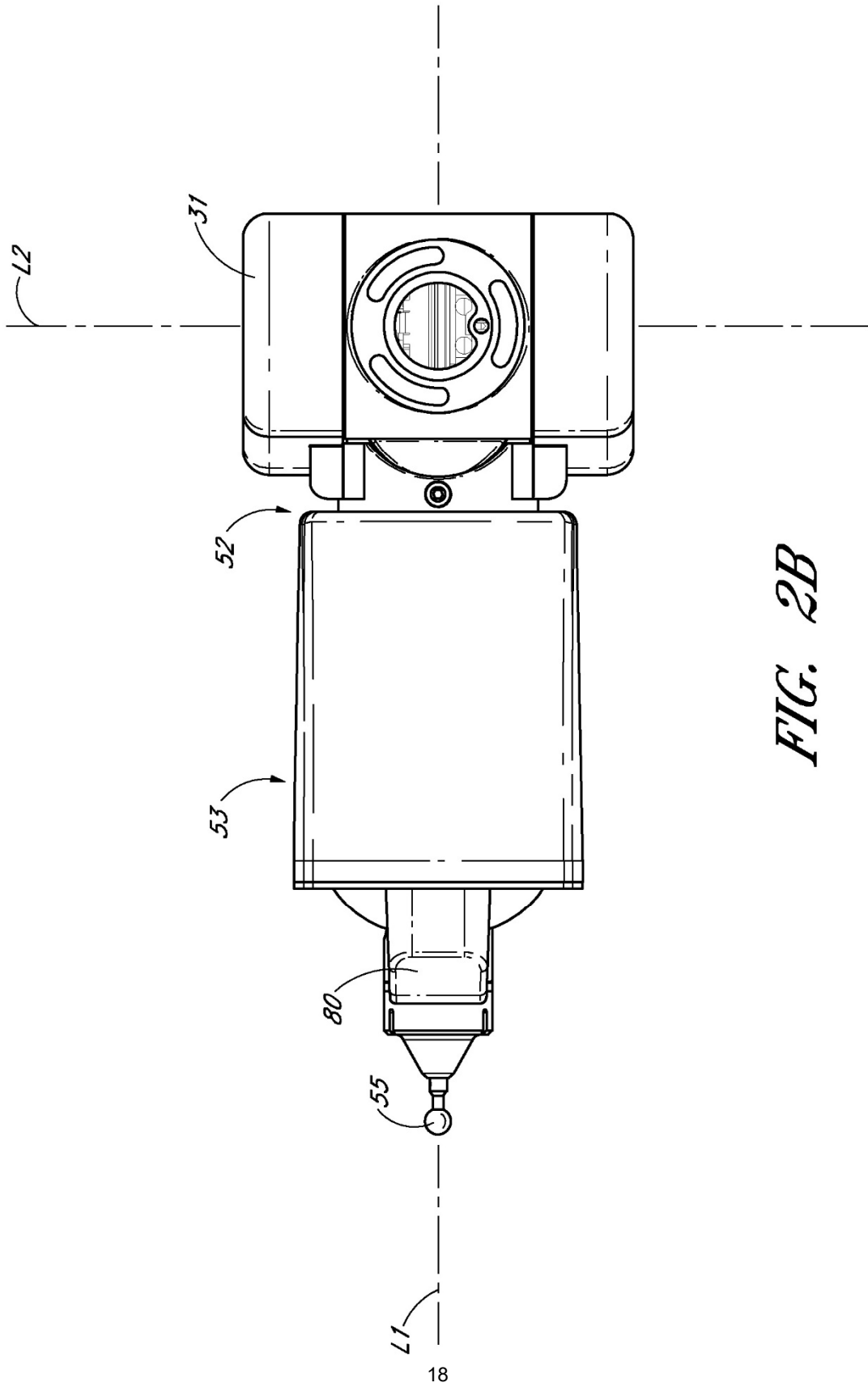


FIG. 2B

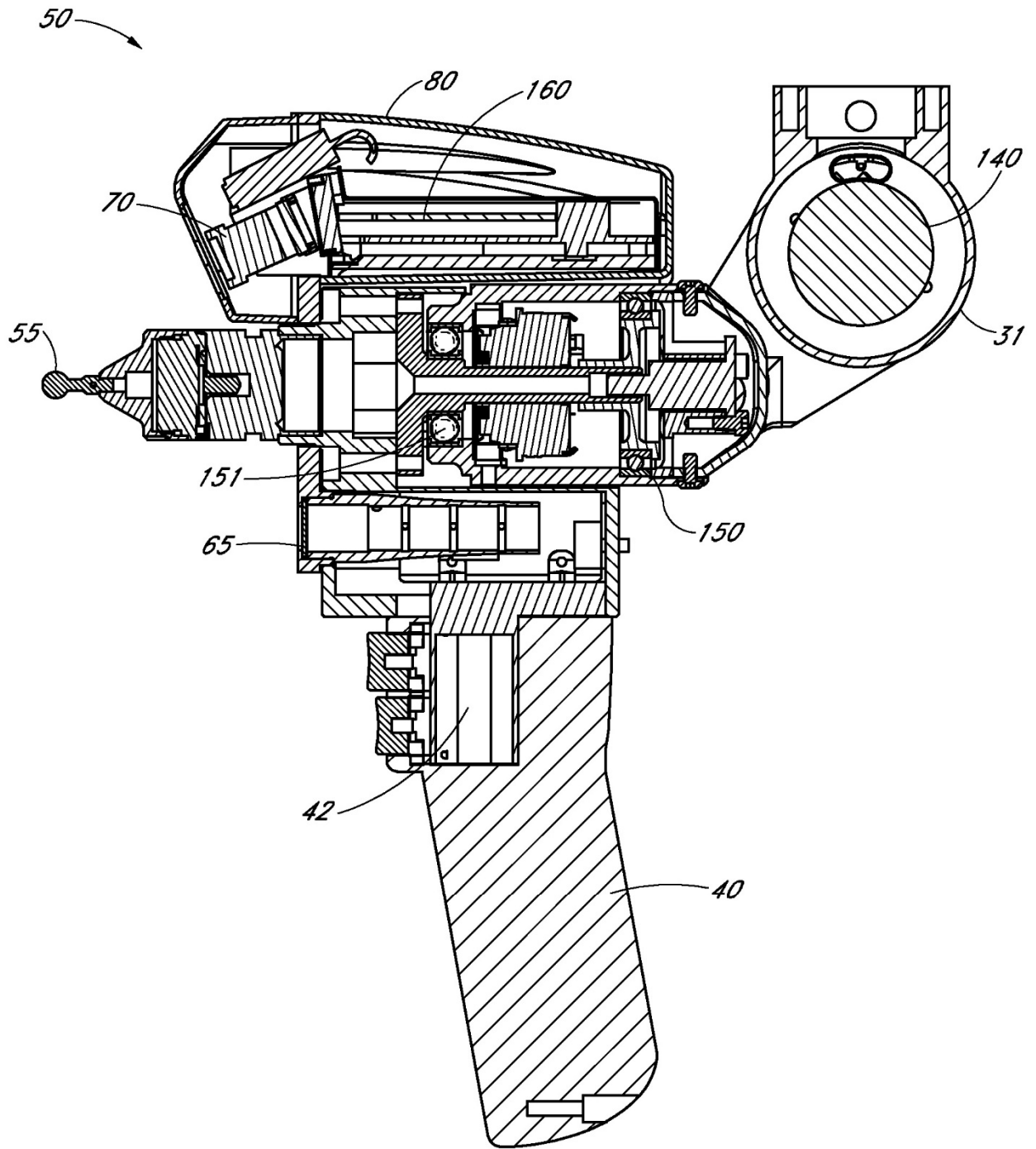


FIG. 2C

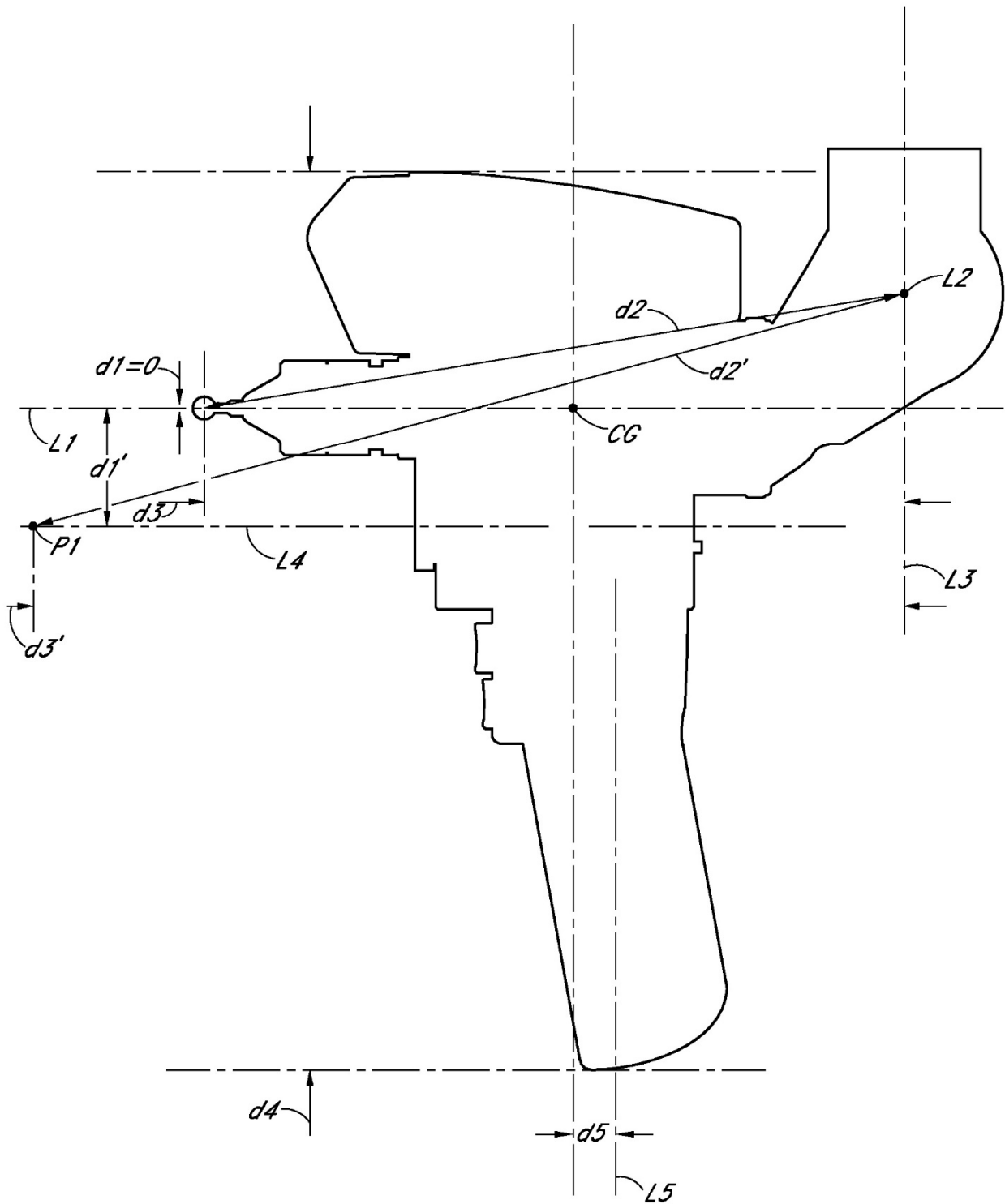


FIG. 2D

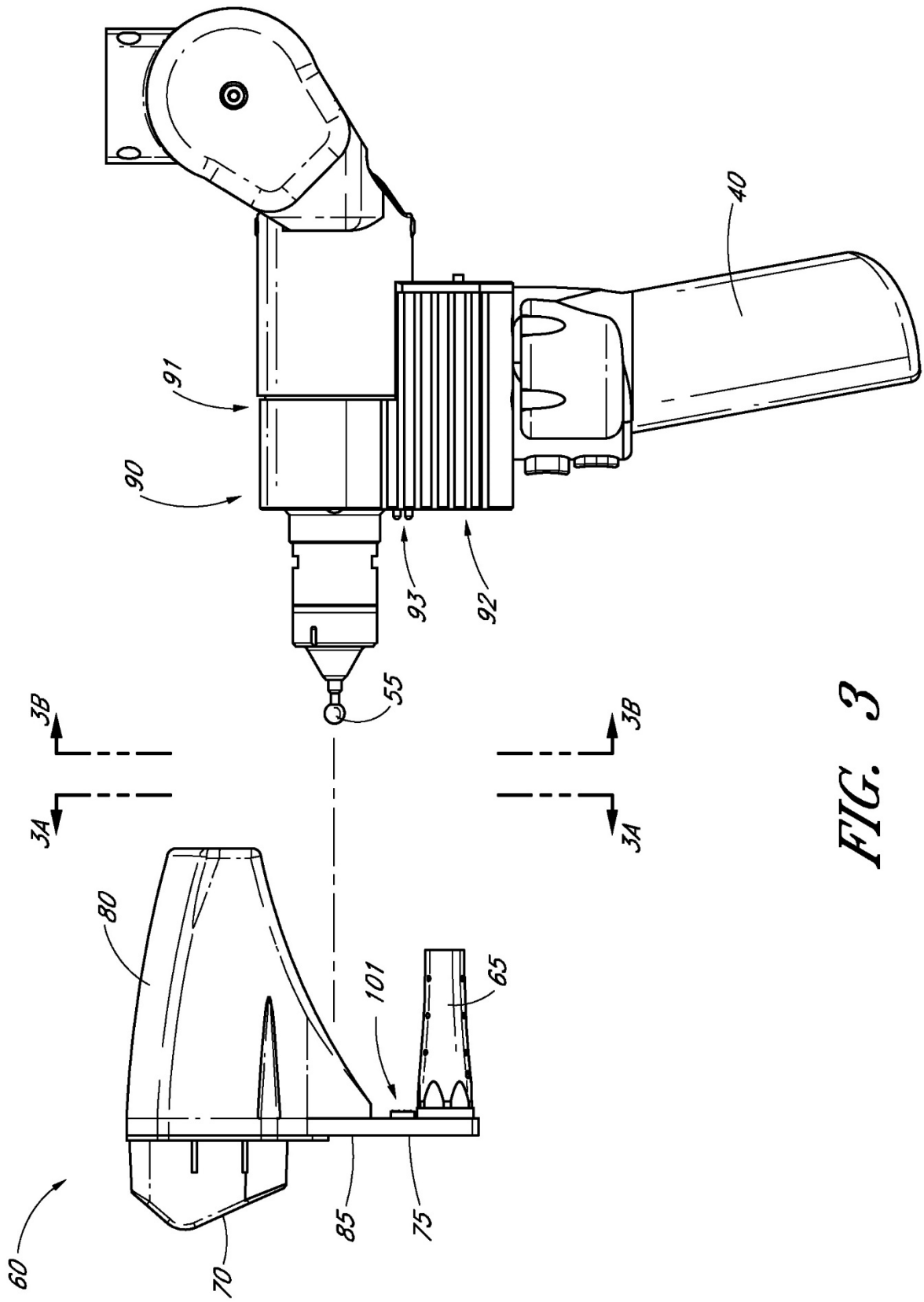


FIG. 3

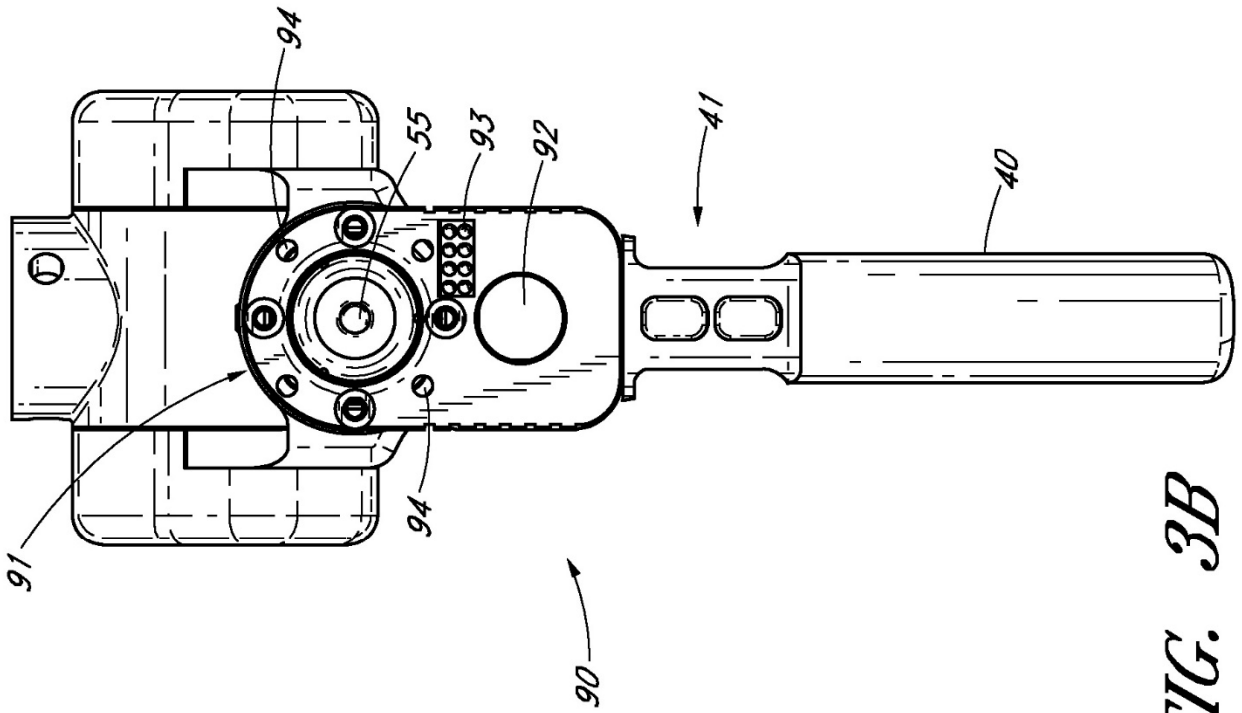


FIG. 3A

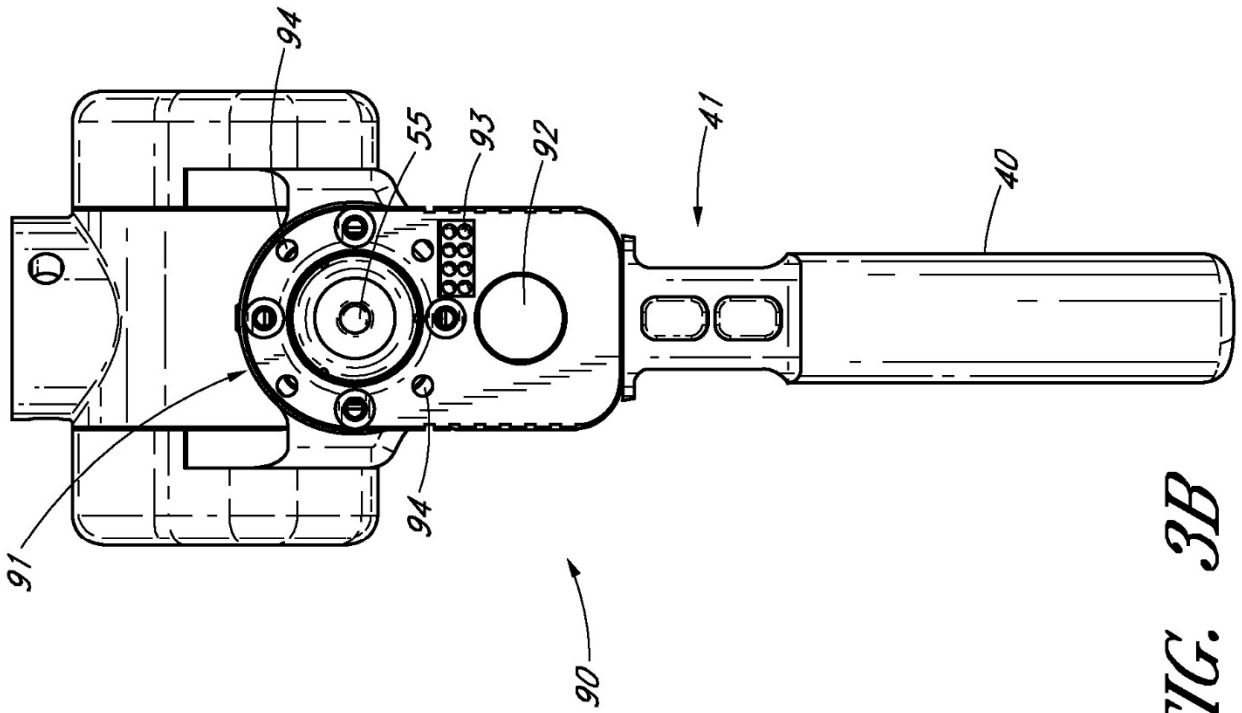


FIG. 3B

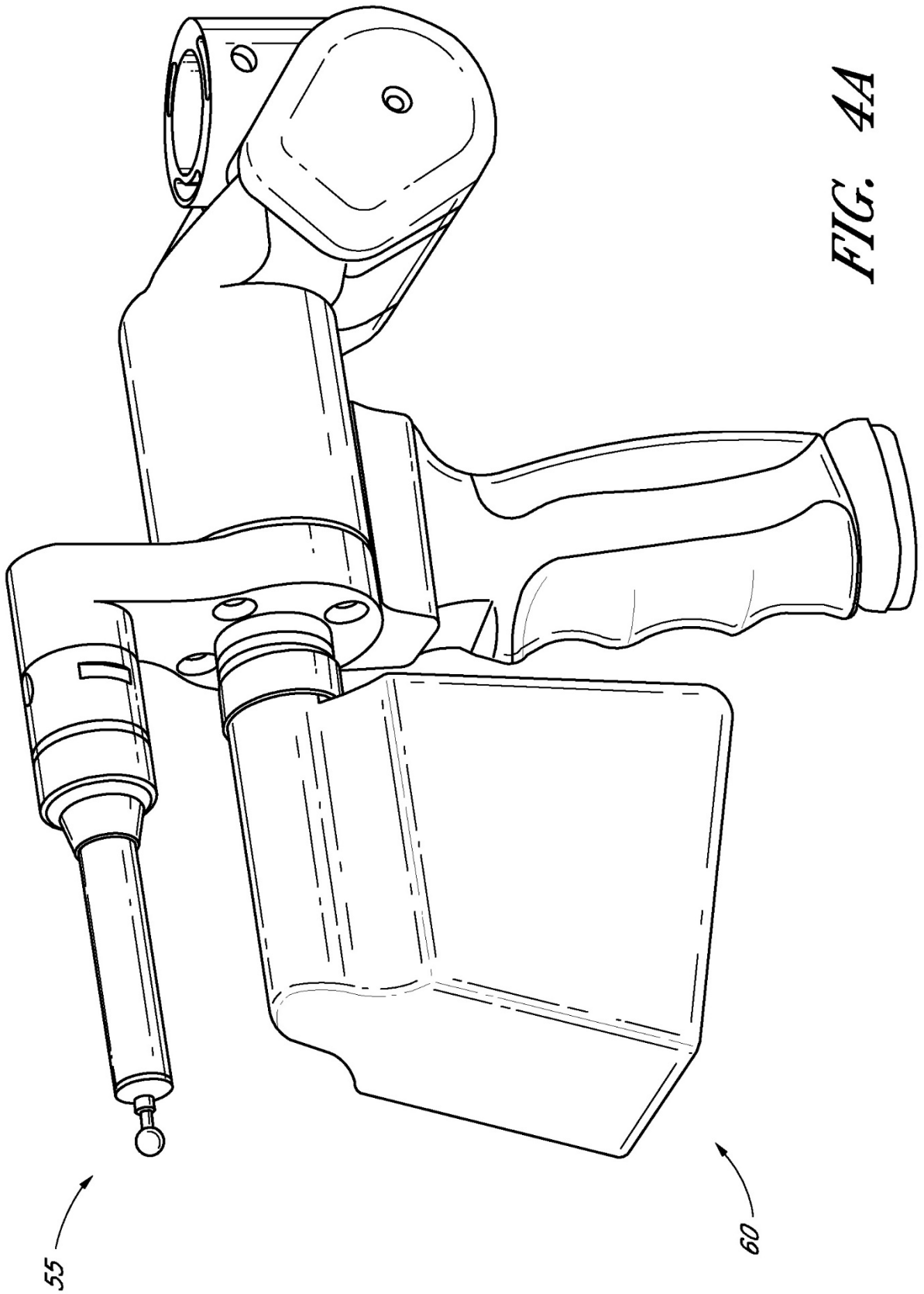


FIG. 4A

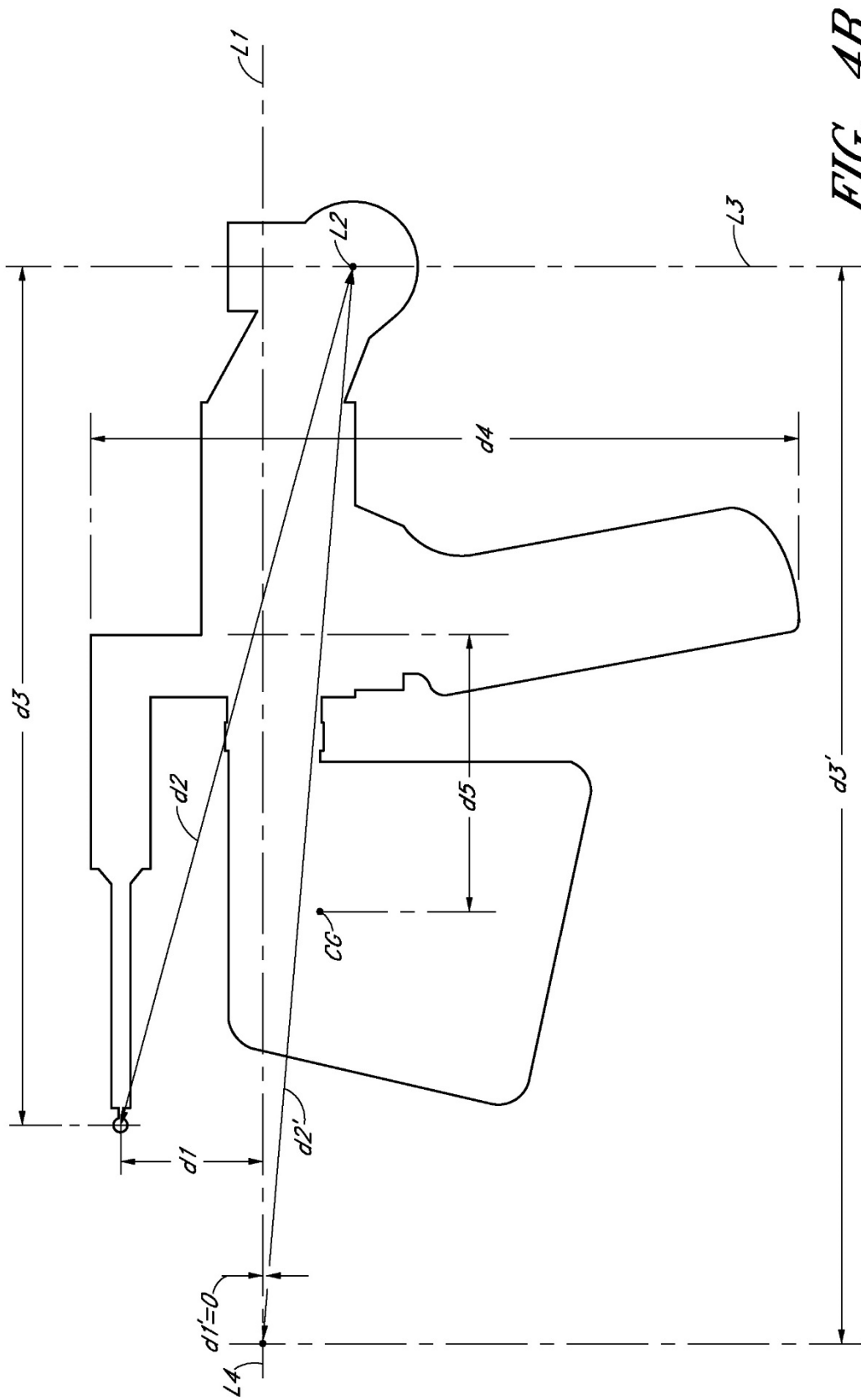


FIG. 4B

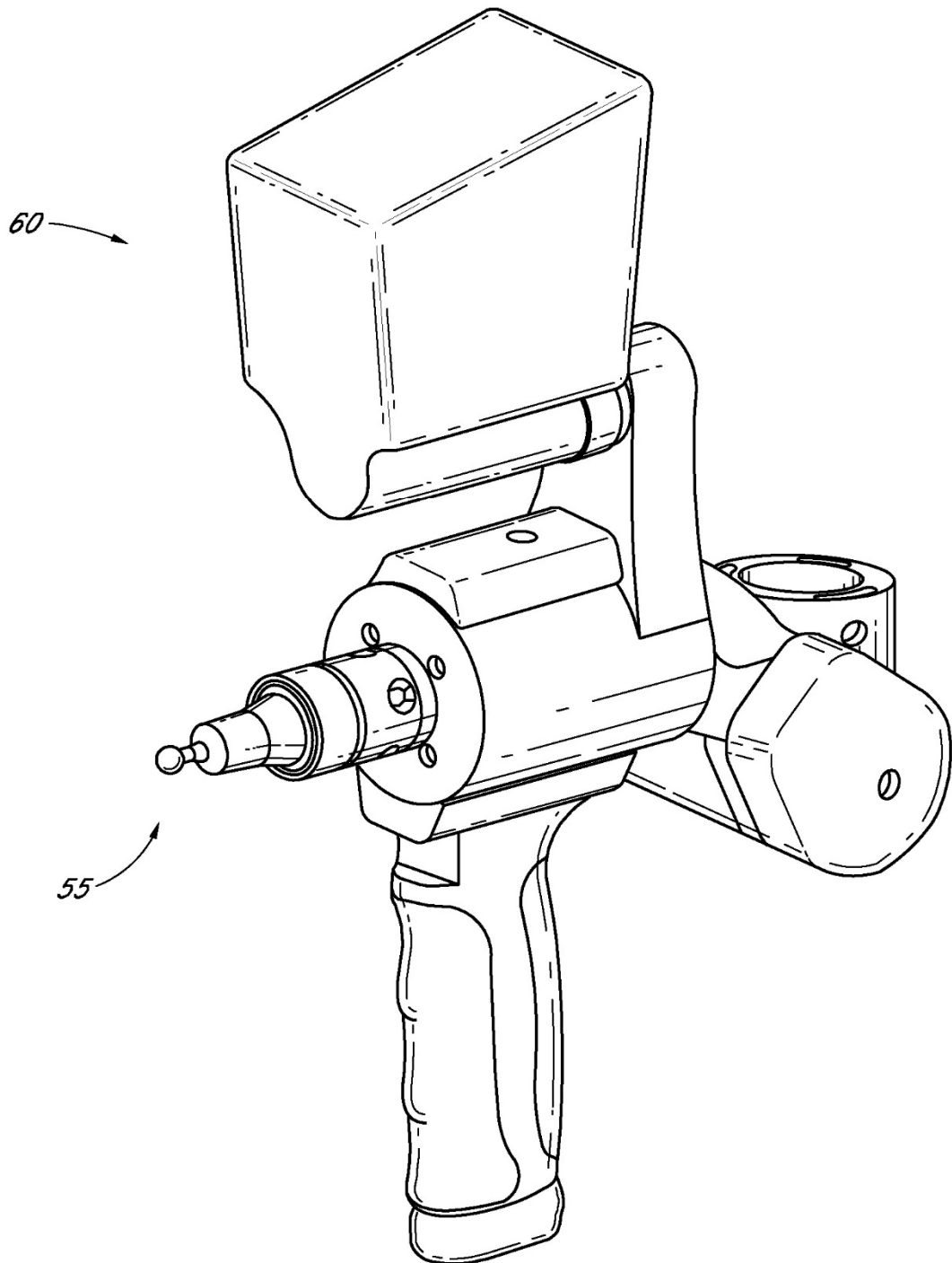


FIG. 5A

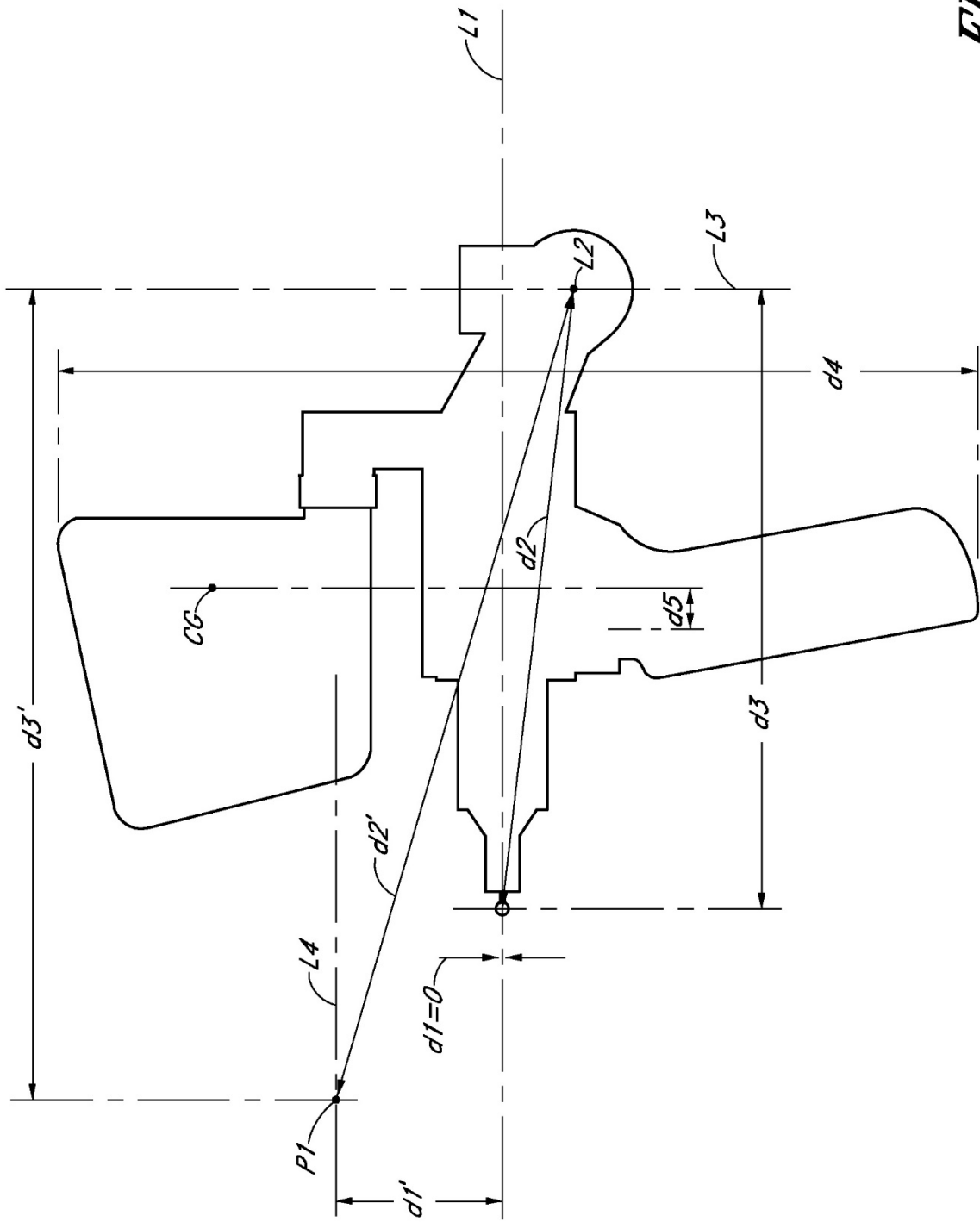


FIG. 5B

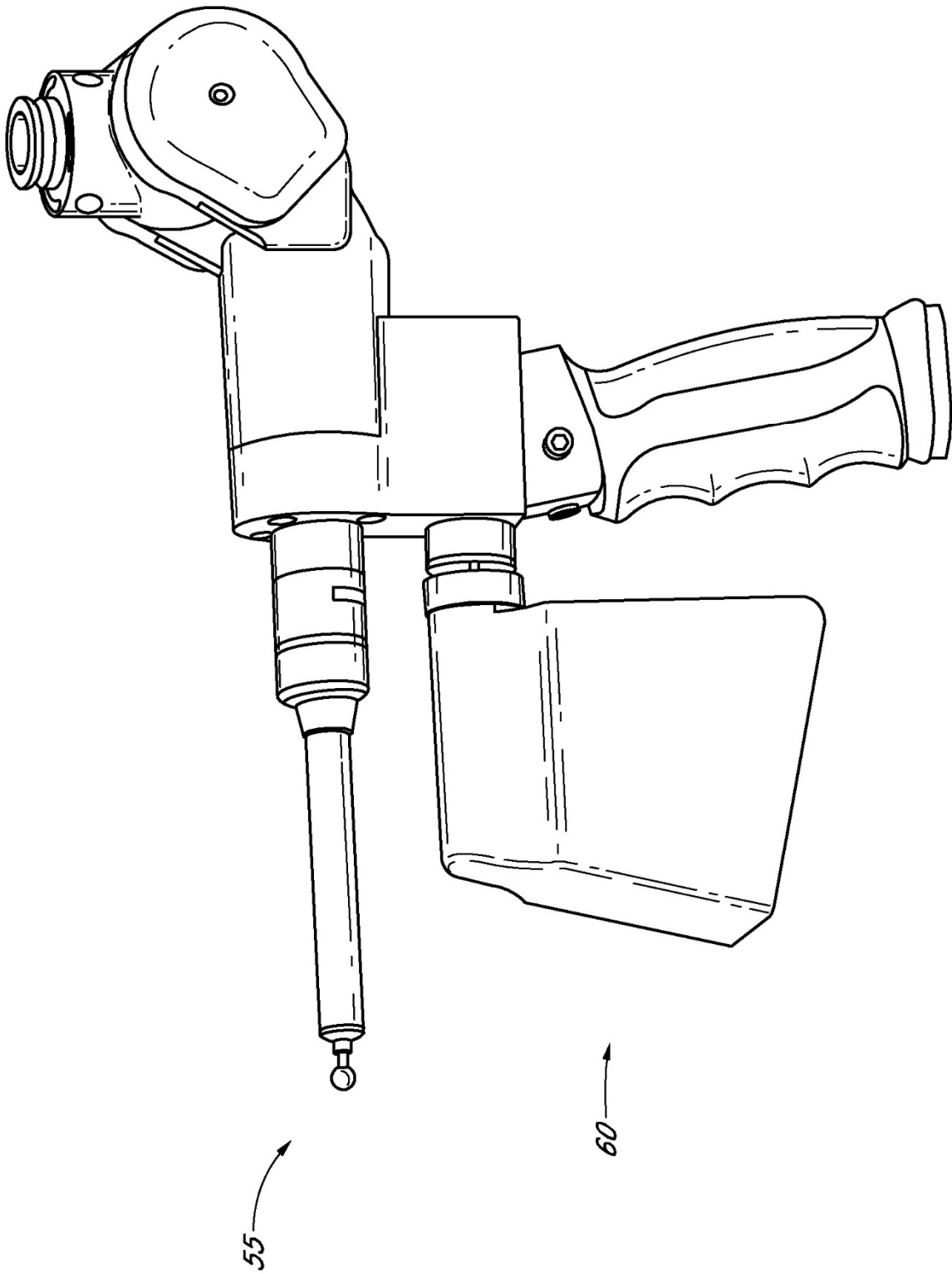


FIG. 6A

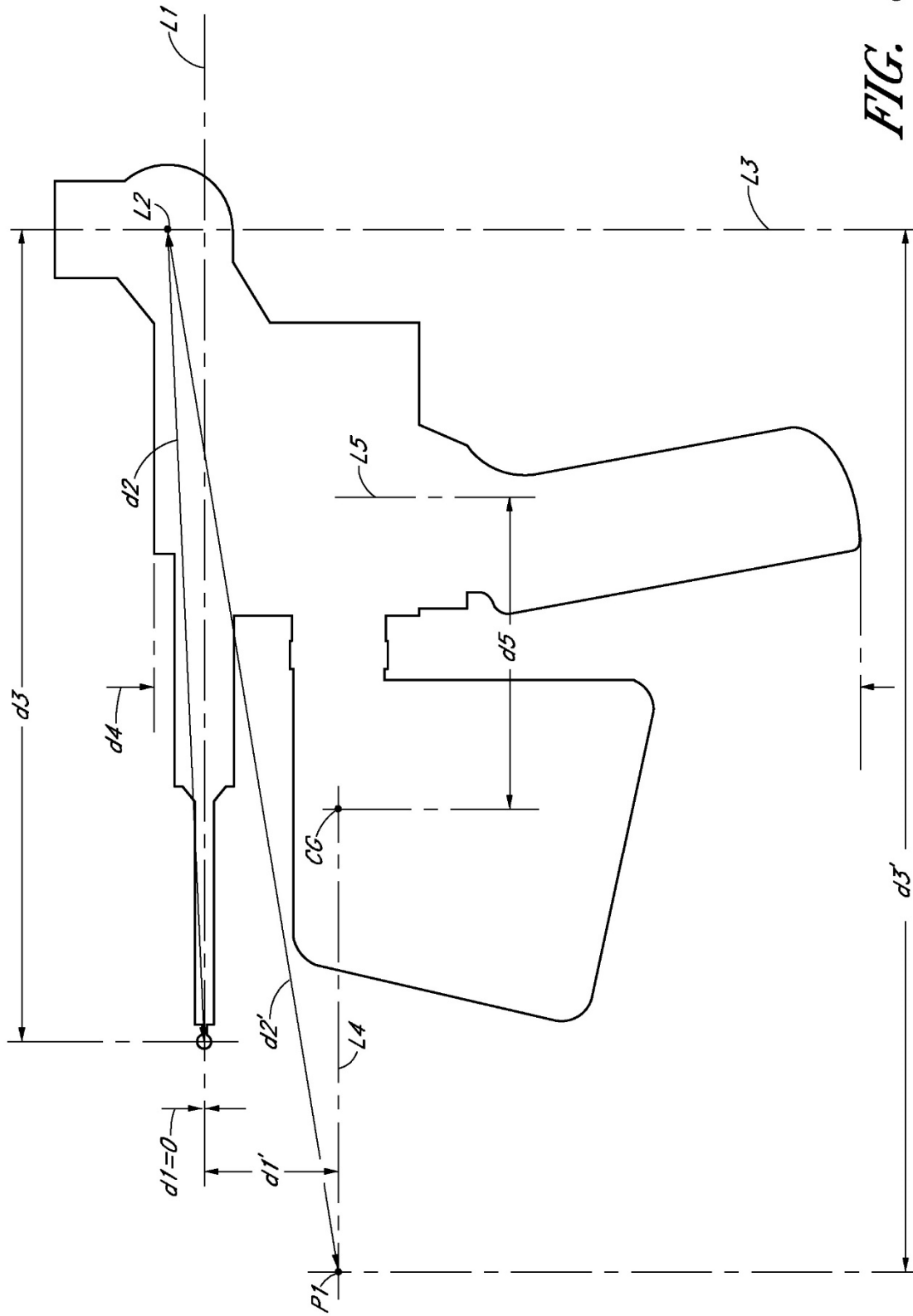


FIG. 6B

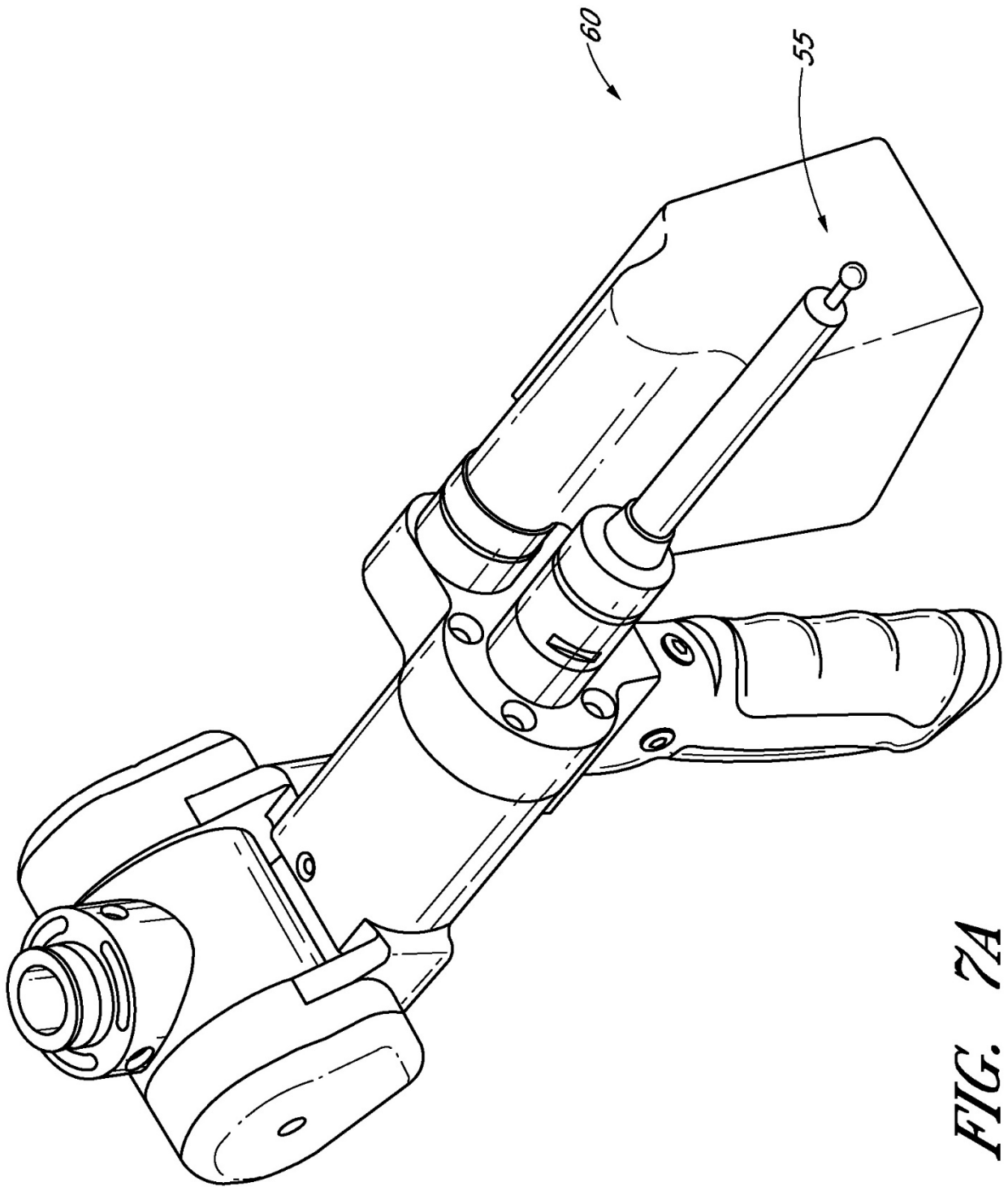


FIG. 7A

