(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 717 892**

(51) Int. Cl.:
H05B 33/08 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.03.2012 PCT/IB2012/051147**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **27.09.2012 WO12127354**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.03.2012 E 12710360 (4)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.01.2019 EP 2687065**

(54) Título: **Método y dispositivo para iluminar un espacio utilizando una cadena de LED**

(30) Prioridad:

18.03.2011 EP 11158819

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.06.2019

(73) Titular/es:

SIGNIFY HOLDING B.V. (100.0%)
High Tech Campus 48
5656 AE Eindhoven, NL

(72) Inventor/es:

CREUSEN, MARTINUS PETRUS y
KURT, RALPH

(74) Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 717 892 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

Método y dispositivo para iluminar un espacio utilizando una cadena de LED

Campo de la invención

La presente invención se refiere al campo de la iluminación LED (Diodo Emisor de Luz). Más en particular, la presente invención se refiere a un método y a un dispositivo para iluminar un espacio, utilizando una cadena de LED de segmentos de LED conectados en serie.

Antecedentes de la invención

Las patentes estadounidenses No. 7,081,722, US2010/0194298 y US2004/0233145 divulgan un método y/o un circuito para controlar LED en multifase. Está prevista una cadena de LED dividida en grupos conectados entre sí en serie. Cada grupo está conectado a tierra a través de trayectos conductores separados. Un conmutador de fase es proporcionado en cada trayecto conductor. Aumentando la tensión de entrada, se hace que la cadena de LED se encienda, grupo por grupo, en una secuencia aguas abajo de la cadena.

En el campo de la iluminación LED, existe una necesidad para mejorar adicionalmente la funcionalidad de iluminación y para crear una iluminación distribuida espacialmente específica.

Resumen de la invención

Sería deseable proporcionar un método y un dispositivo para iluminar un espacio con una iluminación distribuida espacialmente. También sería deseable proporcionar una iluminación distribuida espacialmente de una manera simple y con costes reducidos. Además, sería deseable influir la luz distribuida mediante atenuación.

Para abordar mejor este asunto, en un primer aspecto de acuerdo con la invención, se proporciona un método de iluminación de al menos una parte de un espacio, utilizando una cadena de diodos emisores de luz (LED) que comprende un primer segmento de LED y al menos un segmento de LED adicional, que están conectados en serie, cada segmento de LED que comprende al menos un LED, la cadena de LED que está alimentada por una tensión de CA rectificada. El primer segmento de LED es alimentado cuando una tensión de CA rectificada está por encima de un primer nivel de tensión, y el primer segmento de LED y el segmento de LED adicional son alimentados cuando la tensión de CA rectificada está por encima de un segundo nivel de tensión más alto que el primer nivel de tensión. El primer segmento de LED está dispuesto para irradiar luz a un primer volumen del espacio, el primer volumen que es al menos parcialmente diferente del segundo volumen. El primer segmento de LED emite luz que tiene unas primeras propiedades de luz, y el segmento de LED adicional emite luz que tiene unas segundas propiedades de luz que son iguales a, o diferentes de, las propiedades de luz del primer segmento de LED. Las propiedades de luz pueden comprender la intensidad de luz y el color de luz.

La cadena de LED, de aquí en adelante también referida como módulo LED, comprende una pluralidad de segmentos de LED conectados en serie. Cada segmento de LED puede comprender uno o más LED conectados mutuamente como se desee. La tensión de cada segmento de LED puede ser la misma que, o diferente de, otros segmentos. El número de segmentos de LED en una cadena de LED se puede elegir de forma diferente, y es de al menos dos.

La cadena de LED puede comprender segmentos de LED, todos ellos irradiando luz del mismo color.

En otro modo de realización, uno o más de los primeros segmentos de LED puede emitir luz que tiene una primera temperatura de color, y uno o más de los segmentos de LED adicionales pueden emitir luz que tiene una segunda temperatura de color. La primera temperatura de color de luz emitida por el primer segmento de LED puede diferir de la primera temperatura de color de luz emitida por otro primer segmento de LED, y la segunda temperatura de color de luz emitida por un segmento de LED adicional puede diferir de una segunda temperatura de color de la luz emitida por otro segmento de LED adicional. El primer segmento de LED puede emitir luz roja, naranja, amarilla o ámbar, incluyendo cualquier combinación de las mismas, e incluyendo colores saturados o menos saturados.

Cuando la tensión de CA no es atenuada, tanto el(los) primer(os) segmento(s) de LED como el(los) segmento(s) adicional(es) son alimentados durante medio ciclo de la tensión de red, donde la tensión de red excederá tanto el primer nivel de tensión como el segundo nivel de tensión.

Cuando se controla una cadena de segmentos de LED tal y como se indicó anteriormente con una tensión de CA rectificada no atenuada, los segmentos de LED funcionarán de acuerdo con el nivel de tensión aplicado. En un medio ciclo de la tensión de red, cuando la tensión momentánea aumenta, inicialmente el primer segmento de LED será alimentado por encima del primer nivel de tensión para irradiar luz, y entonces adicionalmente, cuando la tensión momentánea se eleva adicionalmente, (a), un segmento(s) de LED adicional(es) puede ser alimentado por encima del segundo nivel de tensión para irradiar luz, mientras que el segmento(s) de LED adicional(es) y el primer

segmento de LED posteriormente dejan de irradiar luz cuando la tensión momentánea cae por debajo del segundo nivel de tensión y el primer nivel de tensión, respectivamente. Cuando el primer segmento de LED y el(los) segmento(s) de LED adicional(es) están dispuestos para iluminar un primer y un segundo volúmenes, respectivamente, que son al menos parcialmente diferentes entre sí, una porción de la luz generada por la cadena de segmentos de LED ilumina el primer volumen, y otra porción ilumina el segundo(s) volumen(es).

Cuando la tensión de CA es atenuada, tanto la duración de la alimentación del (de los) primer(os) segmento(s) de LED como la duración del (de los) segmento(s) de LED adicional(es) durante medio ciclo de la tensión de red son reducidas. Cuando la tensión de CA es atenuada de tal manera que el primer nivel de tensión es excedido, pero no es excedido el segundo nivel de tensión durante medio ciclo de la tensión de red, sólo el(los) primer(os) elemento(s) de LED será alimentado durante el medio ciclo. Por consiguiente, cuanto mayor sea la atenuación, mas dominará(n) el(los) primer(os) elemento(s) de LED la intensidad y/o la temperatura de color de la luz emitida por la cadena de LED como un conjunto.

Cuando la cadena de segmentos de LED es atenuada, tal como mediante un corte del ángulo de fase de la tensión de CA, o disminuyendo la amplitud de tensión, o por una combinación de las mismas, la relación de las proporciones de la luz generada por la cadena de segmentos de LED que ilumina el primer y segundo volumen(es), respectivamente, cambiará automáticamente, es decir, de acuerdo con las propiedades inherentes (por ejemplo, la tensión de funcionamiento directa) de los segmentos de LED y el funcionamiento del circuito controlador respectivo. Esta deducción ha llevado a la presente invención, donde se utiliza la relación cambiante para diseñar una distribución de luz espacial particular durante la atenuación, que es adecuada para un propósito específico. En este diseño, se pueden tener en cuenta la intensidad de luz y el color de luz generado por los segmentos LED.

Un módulo de LED es atenuado cuando funciona a una tensión media inferior a la tensión nominal para la cual se diseñó. A medida que disminuye la tensión, la potencia del módulo de LED y la salida de luz disminuyen de forma consiguiente. Una tensión variable para atenuar el módulo de LED se produce mediante un dispositivo de atenuación conectado entre la tensión de CA y el módulo LED. El atenuador de luz puede ser un dispositivo para variar la amplitud de tensión, sin embargo, normalmente es un dispositivo de conmutación de estado sólido, que enciende y apaga la tensión de CA a la frecuencia de tensión de red, por lo tanto, suministrando pulsos de potencia al módulo de LED.

El atenuador de luz puede funcionar mediante una atenuación de corte de fase, o bien apagando la tensión durante una primera porción de un medio ciclo de la tensión, y encendiendo la tensión durante al menos una porción de un medio ciclo de la tensión (también referido como atenuación por corte de fase directa), o encendiendo la tensión durante una primera porción de un medio ciclo de la tensión y apagando la tensión durante una porción final de un medio ciclo de la tensión (también referido como una atenuación de corte de fase inversa). La atenuación de corte de fase directa es barata, y utiliza una electrónica robusta. La atenuación de corte de fase inversa es más cara y requiere una electrónica más compleja, pero algunas cargas, tal como transformadores electrónicos, funcionan mejor y generan menos sonido audible cuando se usa este tipo de atenuación.

Cuando un usuario establece un nivel de atenuación del atenuador de luz (entrada), se obtiene un nivel de luz (salida). En la mayoría de los atenuadores de luz la salida del atenuador de luz no es directamente proporcional a la entrada. Atenuadores de luz diferentes producen diferentes curvas de atenuador de luz que definen la relación entre el nivel de atenuación y el nivel de luz.

En un modo de realización del método de la presente invención, el primer volumen solapa al menos parcialmente el segundo volumen. En la parte de solapamiento, la intensidad de luz, cuando tanto el primer segmento de LED como el segmento de LED adicional están en funcionamiento para emitir luz, es la más alta, mientras que fuera de la parte de solapamiento las intensidades de luz son inferiores. Esto puede proporcionar una intensidad de luz gradualmente decreciente lejos de la parte de solapamiento. Adicionalmente, o de forma alternativa, en la parte de solapamiento, el color de luz, cuando tanto el primer segmento de LED como el segmento de LED adicional están en funcionamiento para emitir luz, puede ser diferente del color de luz fuera de la parte de solapamiento, cuando el color de la luz irradiada por el primer segmento de LED es diferente del color de la luz irradiada por el segmento de LED adicional.

En un segundo aspecto de la invención, se proporciona un módulo de LED para iluminar al menos parte de un espacio, el módulo de LED que comprende una cadena que comprende un primer segmento de LED y al menos un segmento de LED adicional conectados en serie, en donde cada segmento de LED comprende al menos un LED. El primer segmento de LED está adaptado para ser alimentado cuando la tensión de CA rectificada está por encima de un primer nivel de tensión, y el primer segmento de LED y el segmento de LED adicional están adaptados para ser alimentados cuando la tensión de CA rectificada está por encima de un segundo nivel de tensión más alto que el primer nivel de tensión. El primer segmento de LED está dispuesto para irradiar luz a un primer volumen del espacio, y el segmento de LED adicional está dispuesto para irradiar luz a un segundo volumen del espacio, siendo el primer volumen al menos parcialmente diferente del segundo volumen.

En un modo de realización del módulo de LED, el primer segmento de LED está adaptado para irradiar luz en un haz que tiene una primera dirección, y el segmento de LED adicional está adaptado para irradiar luz en un haz que tiene una segunda dirección diferente de la primera dirección. En este caso, puede tomarse una dirección de un haz de luz para ser representada por un vector que comienza en el centro del segmento de LED asociado, apuntando en contra de dicho centro, y que está ubicado centralmente en el haz de luz.

En un modo de realización, la primera dirección es opuesta a la segunda dirección. La primera dirección puede ser descendente, y la segunda dirección puede ser ascendente en una aplicación específica del módulo de LED. Dicha disposición se puede utilizar en una lámpara de mesa, donde la atenuación del módulo de LED resultará en una disminución de la proporción de la luz irradiada en dirección ascendente por el módulo de LED con respecto a la porción de la luz irradiada en dirección descendente por el módulo de LED, por lo tanto, creando una atmósfera de iluminación que se hace cada vez más íntima a la vez que se aumenta la atenuación.

En un modo de realización del módulo de LED, el primer segmento de LED y el segmento de LED adicional irradian luz en haces que tienen la misma dirección de radiación. En dicho modo de realización, cada haz de luz puede iluminar un volumen diferente, aunque todos los haces se solapen.

En un aspecto adicional de la invención, está previsto un módulo de iluminación de LED, el módulo de iluminación de LED que comprende el módulo de LED de la invención. El módulo de iluminación de LED además comprende un circuito controlador de LED que comprende: terminales de entrada de controlador de LED adaptados para ser conectados a una tensión de CA rectificada; un dispositivo de conmutación conectado en paralelo a cada segmento de LED adicional; un dispositivo de control de corriente conectado entre los terminales de entrada de controlador de LED; y una circuitería de control para controlar un estado abierto o un estado cerrado de cada dispositivo de conmutación. La circuitería de control está adaptada para controlar cada dispositivo de conmutación de manera que está en un estado cerrado cuando la tensión de CA rectificada está por debajo de un nivel de tensión predeterminado, y para controlar el dispositivo de conmutación conectado a un segmento de LED adicional para estar en un estado abierto cuando la tensión de CA rectificada está por encima del nivel de tensión predeterminado.

En un aspecto adicional de la invención, se proporciona un módulo de iluminación de LED, el módulo de iluminación de LED que comprende el módulo de LED de la invención. El módulo de iluminación de LED además comprende un circuito controlador de LED que comprende: terminales de entrada de controlador de LED adaptados para ser conectados a una tensión de CA rectificada; un dispositivo de conmutación conectado en paralelo al primer segmento de LED, y un dispositivo de conmutación conectado en paralelo a cada segmento de LED adicional; un dispositivo de control de corriente conectado entre los terminales de entrada de controlador de LED; y una circuitería de control para controlar un estado abierto o un estado cerrado de cada dispositivo de conmutación. La circuitería de control está adaptada para controlar el dispositivo de conmutación conectado en paralelo al primer segmento de LED de manera que está en un estado abierto y el dispositivo de conmutación conectado en paralelo a un segmento de LED adicional de manera que está en un estado cerrado cuando la tensión de CA rectificada está por encima de un primer nivel de tensión y por debajo de un segundo nivel de tensión más alto que el primer nivel de tensión, respectivamente, y para controlar el dispositivo de conmutación conectado a un segmento de LED adicional de manera que está en un estado abierto cuando la tensión de CA rectificada está por encima del segundo nivel de tensión.

En un aspecto adicional de la invención, se proporciona un módulo de iluminación de LED, el módulo de iluminación de LED que comprende el módulo de LED de la invención. El módulo de iluminación de LED además comprende un circuito controlador de LED que comprende: terminales de entrada de controlador de LED adaptados para ser conectados a una tensión de CA rectificada; para cada segmento de LED, un dispositivo de control de corriente conectado entre un terminal del segmento de LED y un terminal de entrada de controlador de LED; y una circuitería de control para controlar una corriente en cada dispositivo de control de corriente. La circuitería de control está adaptada para controlar el dispositivo de control de corriente del primer segmento de LED de manera que permite que fluya una corriente cuando la tensión de CA rectificada está por encima de un primer nivel de tensión, y de manera que no permite que fluya una corriente cuando la tensión de CA rectificada está por debajo de un segundo nivel de tensión más alto que el primer nivel de tensión.

En un modo de realización de uno de los módulos de iluminación de LED, al menos uno de los dispositivos de control de tensión está adaptado para modular por anchura de pulso la corriente que fluye a través del mismo para proporcionar un control de salida de luz del segmento de LED adicional.

En un aspecto adicional de la invención, se proporciona un módulo de iluminación de LED que se puede atenuar, el módulo de iluminación de LED que se puede atenuar que comprende el módulo de iluminación de LED de la invención, un rectificador y un dispositivo de atenuación.

Estos y otros aspectos de la invención serán apreciados más fácilmente a medida que la misma se comprende mejor con referencia a la siguiente descripción detallada y considerada en conexión con los dibujos adjuntos en los cuales símbolos de referencia similares designan partes similares.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1a representa un diagrama de un primer modo de realización de un circuito de iluminación de LED en el cual se indican diferentes módulos mediante líneas de trazos y puntos.

La figura 1b representa un diagrama de un segundo modo de realización de un circuito de iluminación de LED en el cual se indican diferentes módulos mediante líneas de trazos y puntos.

La figura 2 representa corrientes en diferentes segmentos de LED, como una función del ángulo de fase en un medio ciclo de la tensión de CA (rectificada) en el circuito de iluminación de LED de acuerdo con la figura 1a.

La figura 3 representa resultados de simulación de relaciones de la salida de luz de los diferentes segmentos de LED en comparación con la salida de luz total de todos los segmentos de LED, y la tensión medida, en una variación de un ángulo α de corte de fase de la tensión de CA (rectificada) en el circuito de iluminación de LED, de acuerdo con la figura 1a, en las corrientes representadas en la figura 2.

La figura 4 representa un detalle de la figura 3.

La figura 5 representa corrientes en diferentes segmentos de LED, como una función del ángulo de fase en un medio ciclo de la tensión de CA (rectificada) en el circuito de iluminación de LED de acuerdo con la figura 1b.

La figura 6 representa resultados de simulación de relaciones de la salida de luz de los diferentes segmentos de LED en comparación con la salida de luz total de todos los segmentos de LED, y la corriente media, en una variación de un ángulo α de corte de fase de la tensión de CA (rectificada) en el circuito de iluminación de LED, de acuerdo con la figura 1b, en las corrientes representadas en la figura 5.

La figura 7 representa corrientes en diferentes segmentos de LED, como una función del ángulo de fase en un medio ciclo de la tensión de CA (rectificada) en el circuito de iluminación de LED de acuerdo con la figura 1a.

La figura 8 representa resultados de simulación de relaciones de la salida de luz de los diferentes segmentos de LED en comparación con la salida de luz total de todos los segmentos de LED, y la corriente media, en una variación del ángulo α de corte de fase de la tensión de CA (rectificada) en el circuito de iluminación LED de acuerdo con la figura 1a, en las corrientes representadas en la figura 7.

La figura 9 representa gráficos medidos de temperatura de color con respecto a intensidad de luz para un modo de realización de una cadena de LED, y para una GLS (lámpara incandescente).

La figura 10 representa de forma esquemática (parte de) un módulo de iluminación que comprende cuatro segmentos de LED de una cadena de LED.

La figura 11 representa curvas que ilustran una relación entre el ángulo de corte de fase de la tensión de CA en un módulo de iluminación de LED, y una relación entre la radiación de los segmentos de LED que irradian en una dirección, y la radiación de los segmentos de LED que irradian en otra dirección.

La figura 12 representa de forma esquemática un dispositivo de iluminación, en particular una vista lateral de una lámpara de mesa que comprende un módulo de iluminación similar al de la figura 10.

La figura 13 ilustra de forma esquemática haces de radiación emitidos desde diferentes segmentos de LED de un módulo de iluminación de LED de la presente invención.

La figura 14 ilustra diferentes áreas iluminadas por diferentes segmentos de LED del módulo de iluminación de la figura 13.

Las figuras 15a, 15b, 15c y 15d ilustran diferentes áreas compuestas iluminadas por diferentes segmentos de LED de diferentes módulos de iluminación de LED de la figura 13 dispuestos en una hilera.

Descripción detallada de modos de realización

La figura 1a representa un modo de realización de un circuito 1 controlador de LED para controlar un módulo 2 de LED. El circuito 1 controlador de LED está adaptado para ser conectado a una fuente 3 de alimentación que puede comprender una alimentación 4 de tensión de CA conectada a un rectificador y a un dispositivo 5 de atenuación.

La fuente 3 de alimentación tiene terminales 6, 7 de salida para suministrar una tensión de CA rectificada de acuerdo con la amplitud de tensión y frecuencia utilizadas localmente. La tensión suministrada por la fuente 3 de alimentación puede ser una tensión de corte de fase directa o una tensión de corte de fase inversa para proporcionar una función

de atenuación variando la tensión media en los terminales de salida, dependiendo del ángulo de corte establecido automáticamente o por un usuario en el rectificador y el dispositivo 5 de atenuación.

El módulo 2 de LED comprende una pluralidad de segmentos 11, 12, 13, 14 de LED conectados en serie. Cada segmento 11, 12, 13, 14 de LED puede comprender uno o más LED conectados mutuamente como se desee. La tensión de cada segmento 11, 12, 13, 14 de LED puede ser la misma que, o diferente de, otros segmentos, por ejemplo, aproximadamente 30 V, aproximadamente 36 V, o a aproximadamente 70 V. El número de segmentos de LED en un módulo de LED puede elegirse para ser diferente, y es al menos de dos. El módulo 2 de LED tiene terminales 21, 22, 23, 24 y 25, por lo que cada segmento de LED es accesible por dos terminales. El segmento 11 de LED tiene terminales 21 y 22, el segmento 12 de LED tiene terminales 22 y 23, el segmento 13 de LED tiene terminales 23 y 24, y el segmento 14 de LED tiene terminales 24 y 25. Cada uno de los terminales 21, 22, 23, 24 y 25 está disponible para la conexión a un circuito 1 controlador de LED.

El circuito 1 controlador de LED comprende una pluralidad de terminales 30, 31, 32, 33, 34, 35 y 39. Los terminales 30 y 39 están adaptados para ser conectados a los terminales 6, 7 de salida de la fuente 3 de alimentación. Los terminales 31, 32, 33, 34 y 35 están adaptados para ser conectados a los terminales 21, 22, 23, 24 y 25 respectivamente, del módulo 2 de LED. El circuito 1 controlador de LED comprende dispositivos 41, 42 y 43 de conmutación conectados entre terminales 32 y 33, 33 y 34, y 34 y 35, respectivamente. Ejemplos de dispositivos de conmutación adecuados para el uso en el circuito 1 controlador de LED son transistores conmutables, tal como transistores de efecto de campo o transistores bipolares. Un dispositivo 45 de control de corriente conectado entre los terminales 35 y 39 del circuito 1 de controlador de LED. El circuito 1 controlador de LED además comprende una circuitería 46 de control conectada de forma operativa a los dispositivos 41, 42 y 43 de conmutación para, en uso, llevar a los dispositivos 41, 42 y 43 de conmutación a un estado abierto (no conductor) o a un estado cerrado (conductor) en un tiempo deseado. Un ejemplo de dicho funcionamiento temporizado el dado más abajo. La circuitería 46 de control puede, además, opcionalmente, estar conectada de forma operativa al dispositivo 45 de control de corriente para, en uso, controlar la corriente que fluye a través del dispositivo 45 de control de corriente en un tiempo deseado, que también puede ser una modulación por ancho de pulso.

Se ha de señalar que, en un modo de realización alternativo, el rectificador y el dispositivo 5 atenuador de luz pueden ser parte del circuito 1 controlador de LED.

La combinación del circuito 1 controlador de LED y el módulo 2 de LED se referirá como un módulo de iluminación de LED.

La figura 1b representa un modo de realización del circuito 8 controlador de LED para controlar el módulo 2 de LED desde la fuente 3 de alimentación. La configuración del módulo 2 de LED y de la fuente de alimentación puede ser similar o idéntica a las configuraciones explicadas con referencia a la figura 1a, y se han utilizado los mismos números de referencia para identificar componentes de los mismos.

El circuito 8 controlador de LED comprende una pluralidad de terminales 50, 51, 52, 53, 54, 55 y 59. Los terminales 50 y 59 están adaptados para ser conectados a los terminales 6, 7 de salida de la fuente 3 de alimentación. Los terminales 51, 52, 53, 54 y 55 están adaptados para ser conectados a los terminales 21, 22, 23, 24 y 25, respectivamente, del módulo 2 de LED. El circuito 8 controlador de LED comprende una pluralidad de dispositivos 61, 62, 63 y 64 de control de corriente conectados entre los terminales 52 y 59, 53 y 59, 54 y 59, y 55 y 59, respectivamente. El circuito 8 controlador de LED puede además comprender opcionalmente una circuitería 66 de control conectada de forma operativa a los dispositivos 61, 62, 63 y 64 de control para, en uso, controlar la corriente que fluye a través de cada uno de los dispositivos 61, 62, 63, 64 de control de corriente. Un ejemplo de dicho funcionamiento es proporcionado más abajo.

Un segmento 11, 12, 13, 14 de LED emite un color de luz distinto, cuando está en uso. Se distinguen los siguientes colores de luz:

- luz blanca fría (CW) que tiene una temperatura de color alta, por ejemplo, de aproximadamente 5,000 K;

- luz blanca neutral o blanca normal (NW) que tiene una temperatura de color inferior a blanco frío, por ejemplo, aproximadamente 4,000 K;

- luz blanca cálida (WW), tal como luz amarilla o naranja, que tiene una temperatura de color menor que NW;

- luz ámbar (AM) que tiene una temperatura de color menor que WW;

- luz roja (RD) que tienen una temperatura de color menor que AM.

En el módulo 2 de LED, todos los segmentos de LED pueden emitir el mismo color de luz. En otros modos de realización, al menos uno de los segmentos de LED puede emitir luz NW, luz WW, luz AM y/o luz RD, y al menos otro de los segmentos de los otros segmentos de LED puede emitir luz CW, luz NW (cuando el al menos uno de los

segmentos de LED no emite luz NW) y/o luz WW (cuando al menos uno de los segmentos de LED no emite luz NW o WW). Por tanto, las siguientes combinaciones de luz emitida por diferentes segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED se pueden presentar de acuerdo con la tabla I de más abajo, donde X indica una combinación de luz en la misma columna y fila:

Tabla 1: combinaciones de colores en el módulo LED

	NW	WW	AM	RD
CW	X	X	X	X
NW		X	X	X
WW			X	X

La figura 2 ilustra un funcionamiento de un modo de realización del circuito de la figura 1a, en donde el segmento 11 de LED puede emitir luz WW o RD o AM o RD/AM, y al menos uno de los otros segmentos 12, 13 y 14 de LED pueden emitir luz que tiene una temperatura de color más alta que el segmento 11 de LED. En otros modos de realización, la temperatura de color de la luz emitida por los segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED puede ser la misma. El modo de funcionamiento es la corriente constante entregada por la fuente 3 de alimentación. En este modo de funcionamiento, la corriente a través de los segmentos de LED no se ajusta como una función del número de segmentos de LED encendidos.

En la figura 2, la curva V representa la tensión V de red simplificada. Tal y como se muestra por la curva V, en un medio ciclo (ángulo de fase que discurre de 0-180 grados) de la tensión de red rectificada, la amplitud de la tensión V aumenta desde un valor nulo a 0 grados hasta un valor superior a 90 grados y retrocede vuelta al valor nulo a 180 grados.

Se asume que todos los segmentos 11, 12, 13, 14 de LED tienen aproximadamente el mismo voltaje de encendido. Se asume adicionalmente que a 0 grados todos los dispositivos 41, 42 y 43 de conmutación están en un estado cerrado, o que al menos uno de los dispositivos 41, 42 y 43 de conmutación está en un estado abierto.

Cuando la tensión V aumenta de 0 grados en adelante, en aproximadamente 11 grados la tensión V está en un primer nivel suficiente de una corriente I, controlada en amplitud por el dispositivo 45 de control de corriente, para que discurra en el segmento 11 de LED. Todos los dispositivos 41, 42 y 43 de conmutación deberían estar entonces en un estado cerrado, o deberían llevarse a un estado cerrado, y la corriente I debería fluir a través del segmento 11 de LED, los conmutadores 41, 42 y 43 cerrados, y el dispositivo 45 de control de corriente. El valor de la corriente I que fluye a través del segmento 11 de LED es indicado por I11.

A aproximadamente 23 grados, la tensión V está en un segundo nivel suficiente para qué los segmentos 11 y 12 de LED sean conductores y para que la corriente I, todavía controlada en amplitud por el dispositivo 45 de control de corriente, discurra en los segmentos 11 y 12 de LED conectados en serie. El dispositivo 41 de conmutación debería llevarse a un estado abierto, mientras que los dispositivos 42 y 43 de conmutación permanecen en un estado cerrado, para permitir a la corriente I, que ya fluye a través del segmento 11 de LED, discurrir también en el segmento 12 de LED. La corriente que fluye a través del segmento 12 de LED es indicada por 112.

A aproximadamente 36 grados, la tensión V está en un tercer nivel suficiente para que los segmentos 11, 12 y 13 de LED sean conductores, y para que la corriente I, todavía controlada en amplitud por el dispositivo 45 de control de corriente, discurra en los segmentos 11, 12 y 13 de LED conectados en serie. El dispositivo 41 de conmutación debería entonces permanecer en un estado abierto, mientras que el dispositivo 42 de conmutación debería llevarse a un estado abierto, y el dispositivo 43 de conmutación debería permanecer en un estado cerrado, para permitir a la corriente I, que ya fluye a través de los segmentos 11 y 12 de LED, discurra también en el segmento 13 de LED. La corriente que fluye a través del segmento 13 de LED es indicada por 113.

A aproximadamente 52 grados, la tensión V está en un cuarto nivel suficiente para que los segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED sean conductores, y para que la corriente I, todavía controlada en amplitud por el dispositivo 45 de control de corriente, discurra en los segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED conectados en serie. Los dispositivos 41 y 42 de conmutación deberían permanecer en un estado abierto, y el dispositivo 43 de conmutación debería llevarse a un estado abierto, para permitir que la corriente I, que ya fluye a través de los segmentos 11, 12, y 13 de LED también discurra en el segmento 14. La corriente que fluye a través del segmento 14 de LED es indicada por 114.

Entre aproximadamente 52 y aproximadamente 128 grados, la tensión V permanece por encima del cuarto nivel suficiente para que los segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED sean conductores, y para que la corriente I, todavía controlada en amplitud por el dispositivo 45 de control de corriente, discurra en los segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED conectados en serie. Todos los dispositivos 41, 42 y 43 de conmutación permanecen abiertos.

A aproximadamente 128 grados, la tensión V disminuye por debajo del cuarto nivel, y se hace insuficiente para qué el segmento 14 de LED sea conductor, pero es aún suficiente para que los segmentos 11, 12 y 13 de LED sean conductores, y para que la corriente I, todavía controlada en amplitud por el dispositivo 45 de control de corriente, discurra en los segmentos 11, 12 y 13 de LED conectados en serie. El dispositivo 43 de conmutación debería

entonces ser llevado al estado cerrado, mientras que los dispositivos 41 y 42 de conmutación permanecen en un estado abierto, para permitir que la corriente I continúe discurriendo en los segmentos 11, 12 y 13 de LED. La corriente 114 se hace nula.

A aproximadamente 144 grados, la tensión V disminuye por debajo del tercer nivel, y se hace insuficiente para que el segmento 13 de LED sea conductor, pero es aún suficiente para que los segmentos 11 y 12 de LED sean conductores, y para que la corriente I, todavía controlada en amplitud por el dispositivo 45 de control de corriente, discurra en los segmentos 11 y 12 de LED conectados en serie. El dispositivo 42 de conmutación debería entonces ser llevado a un estado cerrado, mientras que el dispositivo 41 de conmutación permanece en un estado abierto y el dispositivo 43 de conmutación permanece en un estado cerrado, para permitir que la corriente I continúe discurriendo en los segmentos 11 y 12 de LED. La corriente 113 se hace nula.

A aproximadamente 157 grados, la tensión V disminuye por debajo del segundo nivel, y se hace insuficiente para que el segmento 12 de LED sea conductor, pero es aún suficiente para que el segmento 11 de LED sea conductor, y para que la corriente I, todavía controlada en amplitud por el dispositivo 45 de control de corriente, discurra en el segmento 11 de LED. El dispositivo 41 de conmutación debería ser entonces llevado a un estado cerrado, mientras que los dispositivos 42 y 43 de conmutación permanecen en un estado cerrado, para permitir que la corriente I continúe discurriendo en el segmento 11 de LED. La corriente 112 se hace nula.

A aproximadamente 169 grados, la tensión V disminuye por debajo del primer nivel, y se hace insuficiente para que el segmento 11 de LED sea conductor. La corriente I11 se hace nula.

Después de aproximadamente 169 grados, cada uno de los dispositivos de conmutación puede estar en un estado abierto o cerrado. La tensión V es insuficiente para tener una corriente I que fluya en cualquiera de los segmentos 11, 12, 13 o 14 de LED.

La figura 3 ilustra las relaciones R de la salida de luz de los segmentos de LED 11 (relación R11), 12 (relación R12), 13 (relación R13) y 14 (relación R14) en comparación con la salida de luz total del módulo 2 LED (eje vertical) en una variación de un ángulo α de corte de fase de la tensión de CA (eje horizontal) en el rectificador y el dispositivo 5 de atenuación, para cada segmento 11, 12, 13, 14 de LED. En cada ángulo α de corte de fase, la siguiente ecuación es cierta: R11 + R12 + R13 + R14 = 100%.

Si el ángulo α de corte de fase es de 0 grados (sin corte de fase), entonces la relación R11 de la salida de luz del segmento 11 de LED con respecto a la salida del total del módulo 2 de LED tal y como se ve a lo largo de un medio ciclo de la tensión de CA, es de aproximadamente un 33%. Para segmentos 12, 13 y 14 de LED, las relaciones R12, R13 y R14 son de aproximadamente 28%, 23% y 16%, respectivamente.

Tal y como puede entenderse a partir de la figura 2, y se puede apreciar en la figura 3, las relaciones R11, R12, R13 y R14 permanecen iguales cuando el ángulo α de corte de fase está entre 0 grados y 11 grados, dado que no afecta a los tiempos de conducción de ninguno de los segmentos de LED. Tal y como se puede entender adicionalmente a partir de la figura 2, y se puede apreciar en la figura 3, la relación R14 se hace nula cuando el ángulo α de corte de fase es mayor de 128 grados, dado que el segmento 14 de LED no puede conducir a dichos ángulos α de corte de fase. Cuando el ángulo α de corte de fase es mayor de 144 grados la relación R13 se hace nula, dado que el segmento 13 de LED no puede conducir a dichos ángulos α de corte de fase. Cuando el ángulo α de corte de fase es mayor de 157 grados, la relación R12 se hace nula, dado que el segmento 12 de LED no puede conducir a dichos ángulos α de corte de fase. Cuando el ángulo α de corte de fase está entre 157 y 169 grados, la relación R11 alcanza un 100%, dado que el segmento 11 de LED es el único que podría entrar en un estado de conducción durante un medio ciclo de la tensión V. Cuando el ángulo α de corte de fase es mayor de 169 grados, la relación R11 se hace nula, dado que el segmento 11 de LED no puede conducir a dichos ángulos α de corte de fase. De hecho, ninguno de los segmentos 11, 12, 13 o 14 de LED puede conducir cuando el ángulo α de corte de fase es mayor de 169 grados.

En la figura 3, la curva Iav muestra la corriente media a través de los segmentos 11, 12, 13, 14 de LED en diferentes ángulos α de corte de fase.

La figura 4 muestra un detalle de la figura 3, es decir, la curva R11 para los ángulos de corte de fase entre 30 grados y 150 grados, que es el típico intervalo de funcionamiento para un rectificador y un dispositivo 5 de atenuación. Tal y como se ha ilustrado por la figura 3, para los segmentos 12, 13 y 14 de LED, las relaciones R12, R13 y R14 respectivas permanecen sustancialmente iguales, o disminuyen, cuando el ángulo α de corte de fase aumenta dentro del intervalo de funcionamiento de la figura 4. Sin embargo, la relación R11 aumenta significativamente cuando el ángulo α de corte de fase aumenta dentro del rango de funcionamiento de la figura 4.

Si la temperatura de color de la luz emitida por el segmento 11 de LED es menor que la temperatura de color de al menos uno de los segmentos 12, 13, 14 de LED, entonces el efecto de atenuación de la cadena de LED del módulo 2 de LED es que la temperatura de color de la luz emitida por el segmento 11 de LED y al menos el segmento 12 de LED del módulo 2 de LED puede disminuir cuando el ángulo α de corte de fase aumenta, debido a que el segmento

11 de LED se hace dominante sobre uno o más de los otros segmentos 12, 13, 14 de LED, o en otras palabras, la relación R11 aumenta más que cualquiera de las relaciones R12, R13, R14. Como resultado, cuando se atenúa el módulo 2 de LED, la temperatura de color (global) de la luz emitida por el segmento 11 de LED y uno o más de los segmentos 12, 13 y 14 de LED puede mostrar una disminución similar a la de una lámpara incandescente. El usuario del módulo de LED puede percibir un comportamiento de color que se asemeja a un comportamiento BBL (línea de cuerpo negro).

Como un ejemplo, al menos un segmento 11 de LED puede emitir luz RD, luz RD/AM, mientras que al menos uno de los otros segmentos 12, 13 y 14 de LED puede emitir luz WW, NW y/o CW.

En modos de realización alternativos, todos los elementos de LED pueden emitir una luz que tenga la misma temperatura de color.

La figura 5 ilustra un funcionamiento de un modo de realización del circuito de la figura 1b, en donde el segmento 11 de LED puede emitir luz WW o RD o AM o RD/AM, y al menos uno de los segmentos 12, 13 y 14 de LED puede emitir una luz que tenga una temperatura de color más alta que la del segmento 11 de LED. En otros modos de realización, la temperatura de color de la luz emitida por los segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED puede ser la misma. El modo de funcionamiento es una potencia constante entregada por la fuente 3 de alimentación. En este modo de funcionamiento, la corriente a través de los segmentos de LED se ajusta como una función del número de segmentos de LED encendidos.

En la figura 5, la curva V representa un medio ciclo (ángulo de fase que discurre de 0-180 grados) de la tensión V de red rectificada.

Se asume que todos los segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED tienen aproximadamente la misma tensión de encendido.

Cuando la tensión V aumenta de 0 grados en adelante, a aproximadamente 11 grados la tensión V está en un primer nivel suficiente de una corriente I que tiene un valor I1, controlada por amplitud mediante el dispositivo 61 de control de corriente, para discurrir en el segmento 11 de LED. Ninguna corriente fluye en los otros segmentos 12, 13, 14 de LED.

A aproximadamente 23 grados, la tensión V está en un segundo nivel suficiente para qué los segmentos 11 y 12 de LED sean conductores. La corriente I se ajusta para tener un valor 12, de amplitud controlada por el dispositivo 62 de control de corriente para discurrir en los segmentos 11 y 12 de LED conectados en serie. El dispositivo 61 de control de corrientes controlado por la circuitería 66 de control para que no conduzca corriente. Ninguna corriente fluye en los otros segmentos 13 y 14 de LED.

A aproximadamente 36 grados, la tensión V está en un tercer nivel suficiente para qué los segmentos 11, 12 y 13 de LED sean conductores. La corriente I se ajusta para tener un valor 13, controlado por amplitud mediante el dispositivo 63 de control de corriente, para discurrir en los segmentos 11, 12 y 13 de LED conectados en serie. Los dispositivos 61 y 62 de control de corriente son controlados por la circuitería 66 de control para que no conduzcan corriente. Ninguna corriente fluye en el segmento 14 de LED.

A aproximadamente 52 grados, la tensión V está en un cuarto nivel suficiente para qué los segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED sean conductores. La corriente ajustada para tener un valor 14, controlado por amplitud mediante el dispositivo 64 de control de corriente, para discurrir en los segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED conectados en serie. Los dispositivos 61, 62 y 63 de control de corriente son controlados por la circuitería 66 de control para que no conduzcan corriente.

Entre aproximadamente 52 y 128 grados, la tensión V permanece por encima del cuarto nivel suficiente para qué los segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED sean conductores, y para que la corriente I, todavía controlada en amplitud por el dispositivo 64 de control de corriente, discurra en los segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED conectados en serie. Todos los dispositivos 61, 62 y 63 de control de corriente están en un estado abierto, es decir, no conducen corriente.

A aproximadamente 128 grados, la tensión V disminuye por debajo del cuarto nivel, y se hace insuficiente para que el segmento 14 de LED sea conductor, pero es todavía suficiente para que los segmentos 11, 12 y 13 de LED sean conductores, y para que la corriente I discurra en los segmentos 11, 12 y 13 de LED conectados en serie. El dispositivo 63 de control de corriente entonces ajusta la amplitud de la corriente I para tener un valor I3. Los dispositivos 61 y 62 de control de corriente son controlados por la circuitería 66 de control para que no conduzcan corriente.

A aproximadamente 144 grados, la tensión V disminuye por debajo del tercer nivel, y se hace insuficiente para que los segmentos 13 y 14 de LED sean conductores, pero es todavía suficiente para que los segmentos 11 y 12 de LED sean conductores, y para que la corriente I discurra en los segmentos 11 y 12 de LED conectados en serie. El

dispositivo 62 de control de corriente entonces ajusta la amplitud de la corriente I a un valor 12. El dispositivo 61 de control de corriente se puede controlar mediante la circuitería 66 de control para que no conduzca corriente.

A aproximadamente 157 grados, la tensión V disminuye por debajo del segundo nivel, y se hace insuficiente para que los segmentos 12, 13 y 14 de LED sean conductores, pero es aún suficiente para que el segmento 11 de LED sea conductor, y para que la corriente I discurra en el segmento 11 de LED. El dispositivo 61 de control de corriente entonces ajusta la amplitud de la corriente I a un valor I1.

A aproximadamente 169 grados, la tensión V disminuye por debajo del primer nivel, y se hace insuficiente para que el segmento 11 de LED sea conductor. La corriente I se hace nula.

Más allá de aproximadamente 169 grados, la tensión V es insuficiente para tener una corriente I que fluyan cualquiera de los segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED.

La figura 6 ilustra las relaciones R de la salida de luz de los segmentos de LED 11 (relación R11), 12 (relación R12), 13 (relación R13) y 14 (relación R14) en comparación con la salida de luz total del módulo 2 de LED (eje vertical) en una variación de un ángulo α de corte de fase de la tensión de CA (eje horizontal) en el rectificador y el dispositivo 5 de atenuación, para cada segmento 11, 12, 13 y 14 de LED. En cada ángulo α de corte de fase, la siguiente ecuación es cierta: R11 + R12 + R13 + R14 = 100%.

Si el ángulo α de corte de fase es de 0 grados (sin corte de fase), entonces la relación R11 de la salida de luz del segmento 11 de LED con respecto a la salida de luz total del módulo 2 de LED tal y como se ve a lo largo de un medio ciclo de la tensión de CA, es de aproximadamente un 42%. Para segmentos 12, 13 y 14 de LED, las relaciones R12, R13 y R14 son de aproximadamente 27%, 19% y 12%, respectivamente.

Tal y como puede entenderse a partir de la figura 5, y se puede apreciar en la figura 6, las relaciones R11, R12, R13 y R14 permanecen iguales cuando el ángulo α de corte de fase está entre 0 grados y 11 grados, dado que estos valores no afectan a los tiempos de conducción de ninguno de los segmentos de LED. Tal y como se puede entender adicionalmente a partir de la figura 5, y se puede apreciar en la figura 6, la relación R14 se hace nula cuando el ángulo α de corte de fase es mayor de 128 grados, dado que el segmento 14 de LED no puede conducir a dichos ángulos α de corte de fase. Cuando el ángulo α de corte de fase es mayor de 144 grados la relación R13 se hace nula, dado que el segmento 13 de LED no puede conducir a dichos ángulos α de corte de fase. Cuando el ángulo α de corte de fase es mayor de 157 grados, la relación R12 se hace nula, dado que el segmento 12 de LED no puede conducir a dichos ángulos α de corte de fase. Cuando el ángulo α de corte de fase está entre 157 y 169 grados, la relación R11 alcanza un 100%, dado que el segmento 11 de LED es el único que podría entrar en un estado de conducción durante un medio ciclo de la tensión V. Cuando el ángulo α de corte de fase es mayor de 169 grados, la relación R11 se hace nula, dado que el segmento 11 de LED no puede conducir a dichos ángulos α de corte de fase. De hecho, ninguno de los segmentos 11, 12, 13 o 14 de LED puede conducir cuando el ángulo α de corte de fase es mayor de 169 grados.

En la figura 6, la curva Iav muestra la corriente media a través de los segmentos 11, 12, 13, 14 de LED en diferentes ángulos α de corte de fase.

Se deduce de la figura 6 que el efecto de atenuación de la cadena de LED del módulo 2 de LED es que la temperatura de color de la luz emitida por el módulo 2 de LED puede disminuir cuando el ángulo α de corte de fase aumenta, debido a que el segmento 11 de LED se hace dominante sobre los otros segmentos 12, 13 y 14 de LED, o, en otras palabras, la relación R11 aumenta más que cualquiera de las relaciones R12, R13, R14. Como resultado, cuando se atenúa el módulo 2 de LED, la temperatura de color (global) de la luz emitida por el segmento 11 de LED y uno o más de los segmentos 12, 13 y 14 de LED puede disminuir de una manera similar a una lámpara incandescente.

La figura 7 ilustra un funcionamiento de un modo de realización del circuito de la figura 1a, en donde el segmento 11 de LED puede emitir luz WW o RD o AM o RD/AM, y al menos uno de los segmentos 12, 13 y 14 de LED puede emitir luz que tiene una temperatura de color más alta que el segmento 11 de LED. En otros modos de realización, la temperatura de color de la luz emitida por los segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED puede ser la misma. El modo de funcionamiento entrega a un 50% de la corriente de segmento de LED modulada por la fuente 3 de alimentación. En este modo de funcionamiento, la corriente a través de los segmentos de LED varía a lo largo de un medio ciclo de la tensión V.

En la figura 7, la curva V representa un medio ciclo (0-180 grados) de la tensión V de red rectificada.

Se asume que todos los segmentos 11, 12, 13, 14 de LED tienen aproximadamente la misma tensión de encendido.

Para una descripción del circuito de la figura 1a en el modo de funcionamiento ilustrado en la figura 7, se hace referencia a la descripción de la figura 3 anterior, en donde la única diferencia es que una vez que la corriente I fluye a través del segmento de LED, se modula en anchura de pulso en un 50%.

La figura 8 ilustra la relación R de la salida de luz de los segmentos de LED 11 (relación R11), 12 (relación R12), 13 (relación R13) y 14 (relación R14) en comparación con la salida de luz total del módulo 2 de LED (eje vertical) en una variación de un ángulo α de corte de fase de la tensión de CA (eje horizontal) en el rectificador y el dispositivo 5 de atenuación, para cada segmento 11, 12, 13, 14 de LED. En cada ángulo α de corte de fase, la siguiente ecuación es cierta: R11 + R12 + R13 + R14 = 100%.

Cuando el ángulo α de corte de fase es de 0 grados, (sin corte de fase), la relación R11 de la salida de luz del segmento 11 de LED en la salida de luz total del módulo 2 de LED tal y como se ve en un medio ciclo de la tensión de CA es aproximadamente un 33%. Para los segmentos 12, 13 y 14 de LED la relaciones R12, R13 y R14 son de aproximadamente un 28%, un 23% y un 16%, respectivamente.

Tal y como se puede entender a partir de la figura 7, y se puede apreciar en la figura 8, las relaciones R11, R12, R13 y R14 permanece en iguales cuando el ángulo α de corte de fase está entre 0 grados y 11 grados, dado que estos valores no afectan a los tiempos de conducción de cualquiera de los segmentos de LED. Tal y como se puede entender adicionalmente a partir de la figura 7, y se puede apreciar en la figura 8, la relación R14 se hace nula cuando el ángulo α de corte de fase es mayor de 128 grados, dado que el segmento 14 de LED no puede conducir a dichos ángulos α de corte de fase. Cuando el ángulo α de corte de fase es mayor de 144 grados, la relación R13 se hace nula, dado que el segmento 13 de LED no puede conducir a dichos ángulos α de corte de fase. Cuando el ángulo α de corte de fase es mayor de 157 grados, la relación R12 se hace nula, dado que el segmento 12 de LED no puede conducir a dichos ángulos α de corte de fase. Cuando el ángulo α de corte de fase está entre 157 y 169 grados, la relación R11 llega al 100%, dado que el segmento 11 de LED es el único que podría entrar en un estado de conducción durante un medio ciclo de la tensión V. Cuando el ángulo α de corte de fase el ángulo es mayor de 169 grados, la relación R11 se hace nula, dado que el segmento 11 de LED no puede conducir a dichos ángulos α de corte de fase. De hecho, ninguno de los segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED puede conducir cuando el ángulo α de corte de fase es mayor de 169 grados.

En la figura 8, la curva Iav muestra la corriente media a través de los segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED en diferentes ángulos α de corte de fase.

Se deduce a partir de la figura 8 que el efecto de atenuar la cadena de LED del módulo 2 de LED es que la temperatura de color de la luz emitida por el módulo 2 de LED puede disminuir cuando el ángulo α de corte de fase aumenta, debido a que el segmento 11 de LED se hace dominante sobre los otros segmentos 12, 13, 14 de LED, en otras palabras, la relación R11 aumenta más que cualquiera de las relaciones R12, R13, R14. Como resultado, cuando se atenúa el módulo 2 de LED, la temperatura de color (global) de la luz emitida por el segmento 11 de LED o uno o más de los segmentos 12, 13 y 14 de LED puede disminuir de una manera similar a una lámpara incandescente.

Cuando se compara con las figuras 3, (en conjunción con la 4), 6 y 8, parece que, en los tres escenarios, para los segmentos 12, 13 y 14 de LED, las respectivas relaciones R12, R13 y R14 permanecen sustancialmente iguales, o disminuyen, en un intervalo de funcionamiento representativo de este ángulo α de corte de fase, tal como el intervalo de funcionamiento ilustrado en la figura 4. Sin embargo, la relación R11 aumenta significativamente cuando el ángulo α de corte de fase aumenta dentro del intervalo de funcionamiento. La relación R11 puede ajustarse adicionalmente ajustando el flujo de corriente a través del segmento 11 de LED mediante un control predeterminado de los dispositivos 45 (figuras 1a, 2, 3, 4, 7 y 8) o 61 (figuras 1b, 5 y 6) de control de corriente respectivamente posiblemente suplementados por un control predeterminado de los dispositivos 62, 63 y/o 64 de control de corriente (figuras 1b, 5 y 6).

Se ha de señalar que el circuito 1 controlador de LED en la figura 1a tiene dispositivos 41, 42 y 43 de conmutación que están adaptados de manera que están conectados en paralelo con respectivos segmentos 12, 13 y 14 de LED. Para el segmento 11 de LED, no hay un dispositivo de conmutación respectivo. Sin embargo, en un modo de realización alternativo del circuito 1 controlador de LED, un dispositivo de conmutación se puede conectar en paralelo con el segmento 11 de LED, y conectarse de forma operativa a la circuitería 46 de control para abrir y cerrar el dispositivo de conmutación de una manera controlada. En dichas circunstancias, cuando la tensión V está en un primer nivel, cualquiera de los segmentos 11, 12, 13, 14 de LED se pueden seleccionar para conducir la corriente I, llevando a su dispositivo de conmutación respectivo a un estado abierto. Esto significa que el segmento 11 de LED, en ese caso, no necesita ser el primer segmento de LED que se va a conducir, y no necesita emitir luz que tenga una temperatura de color que es menor que la temperatura de color de al menos uno de los otros segmentos de LED. El primer segmento de LED que se va conducir y que emite luz que tiene una temperatura de color menor que la temperatura de color de al menos uno de los otros segmentos de LED se puede seleccionar de cualquiera de los segmentos 11, 12, 13 o 14 de LED cuando el circuito controlador de LED tiene un dispositivo de conmutación adaptado para estar conectado en paralelo a cada uno de los segmentos de LED. En otros modos de realización, la temperatura de color de todos los segmentos de LED puede ser la misma.

En la descripción anterior de los funcionamientos de los circuitos 1 y 8 controladores de LED, tal y como se muestra en las figuras 1a y 1b, respectivamente, se ha asumido que todos los segmentos de LED tienen aproximadamente la misma tensión de encendido, es decir, la tensión a la cual el segmento de LED comienza a conducir corriente. Sin

embargo, los diferentes segmentos de LED pueden tener diferentes tensiones de encendido, lo cual influirá en los ángulos de base a los cuales el segmento de LED en cuestión puede empezar o parar de conducir y emitir luz.

La figura 9 muestra un primer gráfico, marcado como EMB, de medidas de la temperatura T (K) de color de un modo de realización del módulo LED que comprende seis segmentos de LED de 50 V cada uno, donde el primer segmento de LED emite luz ámbar, y los otros cinco segmentos de LED emite en luz blanca, representados con respecto a la intensidad LI (%) de luz del módulo de LED a lo largo de un intervalo de atenuación. Para la comparación, la temperatura de color de una GLS (lámpara incandescente) común se representará con respecto su intensidad de luz en el mismo diagrama. Tal y como se puede apreciar, tanto para el módulo de LED como para la GLS, la temperatura de color de la luz emitida en su conjunto disminuye de una manera similar, demostrando que el módulo de LED en su conjunto muestra un comportamiento similar de temperatura del color de su luz emitida como una GLS.

La figura 10 muestra un módulo de LED que tiene un soporte 70 en el cual se montan cuatro (4) segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED. Los segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED pueden ser parte de un módulo 2 de LED como el representado en las figuras 1a o 1b. Los segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED están conectados en serie, y puede cada uno comprender uno o más LED conectados mutuamente como se desee (en serie, en paralelo, o en serie-paralelo). La tensión de funcionamiento de cada segmento 11, 12, 13, 14 de LED puede ser la misma que o diferente de, los otros segmentos, por ejemplo, aproximadamente 30 V, aproximadamente 36 V o aproximadamente 70 V. El número de segmentos de LED en un módulo de LED puede ser elegido de forma diferente, y es al menos de dos. En la disposición de la figura 10, el color y/o y la intensidad de la luz emitida por cada uno de los segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED a una tensión de funcionamiento normal puede ser el mismo que uno o más de los otros segmentos de LED, o diferentes de los mismos, tal y como se explicó anteriormente.

Para la siguiente explicación, se asume que los segmentos 11 y 12 de LED sobre el soporte 70 del módulo de LED de la figura 10 irradian luz en dirección descendente, mientras que los elementos 13 y 14 de LED del módulo de LED de la figura 10 irradian luz en dirección ascendente.

Cuando los segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED están incluidos en un circuito de iluminación de LED como se muestra en las figuras 1a o 1b, y se acciona mediante la tensión de corte de fase en una operación de atenuación, por ejemplo, tal y como se explicó con referencia a la figura 3 o a la figura 6, respectivamente, una relación Rdu de la intensidad de luz irradiada en dirección descendente (mediante los segmentos 13, 14 de LED) con respecto a la intensidad de luz y radiada en dirección ascendente (mediante los segmentos 11, 12 de LED) se puede medir como una función de un ángulo β de conducción (donde β = 180° - α, con α siendo el ángulo de corte de fase en una atenuación de corte de fase directa (fase inicial) o una atenuación de corte de fase inversa (fase final)). Un resultado de dichas medidas se muestra en la gráfica de la figura 11, donde la curva marcada con FD se ha obtenido para una atenuación de corte de fase directa, y la curva marcada con RD se ha obtenido para una atenuación de corte de fase inversa. Ambas curvas muestran que, en una cantidad relativamente pequeña de atenuación, es decir, en ángulos β de conducción grandes (por ejemplo más de 70°) (correspondiente a los ángulos de corte de fase, por ejemplo, menores de 110°), la proporción de la luz irradiada en dirección descendente en comparación a la proporción de luz y radiada en dirección ascendente puede ser relativamente constante. Sin embargo, con la disminución de los ángulos β de conducción (correspondientes a ángulos α de corte de fase creciente), la relación de la luz irradiada en dirección descendente con respecto a la luz irradiada en dirección ascendente aumenta de tal manera que la mayoría de la luz es irradiada en dirección descendente.

Tal y como se ilustra en la figura 12, cuando el módulo de LED de la figura 10 es accionado como se ilustra en la figura 11, una lámpara 71 de mesa que tiene una pantalla 75 comprende un soporte 70 que porta los segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED, puede irradiar un haz 72 en dirección descendente y un haz 73 de luz en dirección ascendente. A ángulos β de conducción grandes, la luz es irradiada tanto en dirección ascendente en el haz 72 como en dirección descendente en el haz 73. A medida que disminuye el ángulo β de conducción, la luz irradiada en dirección ascendente en el haz 73 disminuye, mientras que la luz irradiada en dirección descendente en el haz 72 puede también disminuir, sin embargo, a un límite menor. A medida que el ángulo β de conducción disminuye adicionalmente, se alcanzará el punto en el que nada de luz es irradiada en dirección ascendente nunca más, mientras que la luz es aún irradiada en dirección descendente. Por consiguiente, accionando una cadena de segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED, en la manera descrita anteriormente, se obtiene un control mejorado de la atmósfera de iluminación en comparación con la atenuación convencional, donde tanto la luz irradiada en dirección ascendente como la luz irradiada en dirección descendente desde la lámpara 71 de mesa podría verse afectada por la atenuación del módulo de LED en la lámpara. Si los diferentes segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED irradian luz del mismo color, entonces la relación de las intensidades de la luz irradiada en el haz 72 con respecto a la luz y radiada en el haz 73 se ve afectada por la atenuación del módulo de LED en la lámpara. Si los diferentes segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED irradian luz de diferentes colores, entonces la relación de las intensidades de la luz irradiada en el haz 72 con respecto a la luz irradiada en el haz 73, así como el color de la luz en cada uno de los haces 72, 73 se puede ver afectada por la atenuación del modo de LED de la lámpara.

La figura 13 ilustra otra configuración de los segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED en un soporte 80 de un módulo de LED. Todos los segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED irradian luz en la misma dirección. Como un ejemplo, el

segmento 11 de LED irradia luz en un haz B11, el segmento 12 de LED irradia luz en un haz B12 que es más ancho que el haz B11, el segmento 13 de LED irradia luz en un haz B13 que es más ancho que los haces B11 y B12 y el segmento 14 de LED irradia luz en un haz B14 que es más ancho que los haces B11, B12 y B13. Todos los haces B11, B12, B13 y B14 muestran un solapamiento.

La figura 14 ilustra áreas A11, A12, A13 y A14 iluminadas por los haces B11, B12, B13 y B14, respectivamente. Por tanto, un área A11, A12, A13 y A14 se puede apreciar como una sección trasversal del haz B11, B12, B13 y B14, respectivamente, donde los haces cada uno define al menos parcialmente un volumen. Se puede apreciar que, en una dirección, las áreas A11, A12, A13 y A14 tienen la misma dimensión, mientras que en una dirección en ángulos rectos con respecto a dicha dirección, el área A14 es más ancha que el área A13, el área A13 es más ancha que el área A12 y el área A12 es más ancha que el área A11.

Cuando la cadena de segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED no es atenuada, un área A14, será iluminada de tal manera que la intensidad de luz y/o el color de luz dentro del área A11 puede ser diferente de la intensidad de luz y/o el color de luz dentro del área A12 exterior al área A11, dado que todos los segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED proporcionan luz (que tiene intensidades y/o colores iguales o diferentes). Lo mismo aplica al área A13 exterior al área A12, y al área A14 exterior al área A13. Cuando se atenúa la cadena de segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED, tal como la atenuación por corte de fase y/o la atenuación por amplitud de tensión, se proporcionará gradualmente menos luz al área A14 exterior al área A13, al área A13 exterior al área A12 y al área A12 exterior al área A11 hasta que se alcance este punto donde solo se proporciona luz al área A11. Por consiguiente, el área iluminada se estrecha cuando se aumenta la atenuación.

Cuando una cadena de módulos de LED, cada uno que comprende segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED, está dispuesta en una configuración separada lo largo de una línea para iluminar, por ejemplo, un corredor que tiene una longitud y una anchura, con dicha línea que se extiende en la parte superior del corredor en la dirección de longitud del mismo, y la luz es dirigida al suelo del corredor, el corredor se puede iluminar tal y como se ilustra en las figuras 15a, 15b, 15c y 15d. Si todos (en el ejemplo ilustrado no limitativo: cuatro) los módulos de LED son atenuados de la misma manera, entonces en un estado sin atenuación, se iluminará una cadena de áreas A14-1, A14-2, A14-3 y A14-4, como resultado de lo cual la intensidad de luz y/o el color de luz dentro de las áreas A11-1, A11-2, A11-3 y A11-4 será diferente de la intensidad de luz y/o del color de luz dentro de las áreas A12-1, A12-2, A12-3 A12-4 exteriores a las áreas A11-1, A11-2, A11-3 y A11-4, dado que todos los segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED de todos los módulos proporcionan luz (que tienen las intensidades y/o colores iguales o diferentes) lo mismo aplica a las áreas A13-1, A13-2, A13-3 y A13-4 exteriores a las áreas A12-1, A12-2, A12-3 y A12-4 y a las áreas A14-1, A14-2, A14-3 y A14-4 exteriores a las áreas A13-1, A13-2, A13-3 y A13-4. Esto se ilustra en la figura 15d. Cuando se atenúa la cadena de segmentos 11, 12, 13 y 14 de LED de los módulos de LED, tal como mediante una atenuación por corte de fase y/o una atenuación por amplitud de tensión, se proporcionará gradualmente menos luz a las áreas A14-1, A14-2, A14-3 y A14-4 exteriores a las áreas A13-1, A13-2, A13-3 y A13-4 hasta que las áreas A14-1, A14-2, A14-3 y A14-4 exteriores a las áreas A13-1, A13-2, A13-3 y A13-4 no sean iluminadas nunca más (tal y como se ilustra en la figura 15c) gradualmente menos luz será proporcionada a las áreas A13-1, A13-2, A13-3 y A13-4 exteriores a las áreas A12-1, A12-2, A12-3 A12-4, hasta que las áreas A13-1, A13-2, A13-3 y A13-4 exteriores a las áreas A12-1, A12-2, A12-3 y A12-4 no sean iluminadas nunca más (como se ilustra en la figura 15b), y gradualmente menos luz será proporcionada a las áreas A12-1, A12-2, A12-3 y A12-4 exteriores a las áreas A11-1, A11-2, A11-3 y A11-4 hasta que se alcance el punto en el que solo la luz es proporcionada a las áreas A11-1, A11-2, A11-3 y A11-4 (como se ilustra en la figura 15a). Por consiguiente, el área alargada iluminada se estrecha cuando aumenta la atenuación. Dicha atenuación de los LED que iluminan un corredor es útil para adaptar la anchura de la iluminación a una condición de uso del corredor, por ejemplo, sin atenuación y por consiguiente con una anchura completa en periodos de uso normal, y adaptando la atenuación en periodos de uso reducido, mientras se puede adaptar una atenuación máxima para mantener un nivel de iluminación seguro en una región central de un corredor, a la vez que se reduce el consumo de energía de los módulos de LED.

La invención como se ilustró y se describió anteriormente se puede aplicar generalmente a tensiones de red y frecuencia de red diferentes, tales como 230 V, 50 Hz en Europa o 110 V, 60 Hz en los Estados Unidos. A 50 Hz, un medio ciclo (0 - 180 grados) de la tensión de red toma 10 ms. A 60 kHz, un medio ciclo de la tensión de red toma 0,83 ms.

Tal y como se explicó anteriormente, en un método de iluminación de al menos una parte de un espacio, se utiliza una cadena de diodos emisores de luz (LED). La cadena de LED comprende un primer segmento de LED y al menos un segmento de LED adicional conectado en serie, cada segmento de LED que comprende al menos un LED. La cadena de LED está alimentada por una tensión de CA rectificada. El primer segmento de LED está alimentado cuando la tensión de CA rectificada está por encima de un primer nivel de tensión, y el primer segmento de LED y el segmento de LED adicional están alimentados cuando la tensión de CA rectificada hasta por encima de un segundo nivel de tensión mayor que el primer nivel de tensión. El primer segmento de LED está dispuesto para irradiar luz a un primer volumen del espacio, y el segmento de LED adicional está dispuesto para irradiar luz a un segundo volumen del espacio, el primer volumen que es al menos parcialmente diferente del segundo volumen. El primer volumen puede solapar al menos parcialmente al segundo volumen.

REIVINDICACIONES

1. Un método de iluminación de al menos parte de un espacio, que utiliza una cadena de diodos emisores de luz (LED) que comprende un primer segmento (11) de LED y al menos un segmento (12, 13, 14) de LED adicional, que están conectados en serie, cada segmento de LED que comprende al menos un LED, la cadena de LED que está alimentada por una tensión de CA que se puede atenuar rectificada,

en donde el primer segmento de LED es alimentado cuando la tensión de CA que se puede atenuar rectificada está por encima de un primer nivel de tensión, y el primer segmento de LED y el segmento de LED adicional están alimentados cuando la tensión de CA rectificada está por encima de un segundo nivel de tensión mayor que el primer nivel de tensión,

en donde el primer segmento de LED está dispuesto para irradiar luz a un primer volumen del espacio, y el segmento de LED adicional está dispuesto para irradiar luz a un segundo volumen del espacio, el primer volumen que es al menos parcialmente diferente del segundo volumen,

en donde la tensión de CA que se puede atenuar rectificada es atenuada por un dispositivo (5) de atenuación de CA y por lo tanto que tiene la tensión de CA que se puede atenuar rectificada ajustada en función de la relación de atenuación del dispositivo de atenuación,

en donde la relación de las propiedades de la luz generada por el primer segmento de LED y por el segmento de LED adicional cambia con el nivel de atenuación de la tensión de CA que se puede atenuar rectificada, seleccionando los segmentos de LED que se van a alimentar en función del nivel de la tensión de CA que se puede atenuar rectificada, y

en donde un nivel de iluminación de área iluminada cambia con el nivel de atenuación de la tensión CA que se puede atenuar rectificada.

2. El método de la reivindicación 1, en donde el primer volumen solapa al menos parcialmente al segundo volumen.

3. Un módulo (2) de LED para la iluminación de al menos una parte, el módulo de LED que comprende una cadena de LED que comprende un primer segmento (11) de LED y al menos un segmento (12, 13, 14) de LED adicional, conectados en serie, en donde cada segmento de LED comprende al menos un LED;

en donde la cadena de LED está adaptada para ser alimentada por una tensión de CA que se puede atenuar rectificada;

en donde el primer segmento de LED está adaptado para ser alimentado cuando la tensión de CA rectificada está por encima de un primer nivel de tensión, y el primer segmento de LED y el segmento de LED adicional están adaptados para ser alimentados cuando la tensión de CA rectificada está por encima de un segundo nivel de tensión mayor que el primer nivel de tensión,

en donde el primer segmento de LED está dispuesto para irradiar luz a un primer volumen del espacio, y el segmento de LED adicional está dispuesto para irradiar luz a un segundo volumen del espacio, el primer volumen que es al menos parcialmente diferente del segundo volumen,

en donde la tensión de CA que se puede atenuar rectificada es atenuada por un dispositivo (5) de atenuación de CA y por tanto que tiene la tensión de CA que se puede atenuar rectificada ajustada en función de la relación de atenuación del dispositivo de atenuación,

en donde, la relación de las propiedades de la luz generada por el primer segmento de LED y por el segmento de LED adicional cambia con el nivel de atenuación de la tensión de CA que se puede atenuar rectificada, seleccionando los segmentos de LEDS que se alimentarán en función del nivel de la tensión de CA que se puede atenuar rectificada, y

en donde el nivel de iluminación de área iluminada cambia con el nivel de atenuación de la tensión de CA que se puede atenuar rectificada.

4. El módulo de LED de la reivindicación 3, en donde el primer segmento de LED está adaptado para irradiar luz en un haz que tiene una primera dirección, y el segmento de LED adicional está adaptado para irradiar luz en un haz que tiene una segunda dirección diferente de la primera dirección.

5. El módulo de LED de la reivindicación 4, en donde la primera dirección es opuesta a la segunda dirección.

6. El módulo de LED de la reivindicación 3, en donde el primer segmento de LED y el segmento de LED adicional irradian luz en haces (B11, B12, B13, B14) que tienen la misma dirección de radiación.

7. El módulo de LED de la reivindicación 3, en donde la temperatura de color de la luz irradiada por el primer segmento de LED es diferente de la temperatura de color de la luz irradiada por el segmento de LED adicional.

8. Un módulo de iluminación de LED que comprende:

el módulo (2) de LED de la reivindicación 3; y

un circuito (1) controlador de LED que comprende:

- terminales (50, 59) de entrada de controlador de LED adaptados para estar conectados a una tensión de CA rectificada;

- un dispositivo (41, 42, 43) de conmutación conectado en paralelo a cada segmento de LED adicional;

- un dispositivo (45) de control de corriente conectado entre los terminales de entrada de controlador de LED; y

- circuitería (46) de control para controlar un estado abierto o un estado cerrado de cada dispositivo de conmutación, la circuitería de control que está adaptada para controlar cada dispositivo de conmutación de manera que está en un estado cerrado cuando la tensión de CA rectificada está por debajo de un nivel de tensión predeterminado y para controlar el dispositivo de conmutación conectado al segmento de LED adicional de manera que está en un estado abierto cuando la tensión de CA rectificada está por encima del nivel de tensión predeterminado.

9. Un módulo de iluminación de LED que comprende:

el módulo (2) de LED de la reivindicación 3;

y un circuito (1) controlador de LED que comprende:

- terminales (50, 59) de entrada de controlador de LED adaptados para estar conectados a una tensión de CA rectificada;

- un dispositivo de conmutación conectado en paralelo al primer segmento de LED, y un dispositivo de conmutación conectado en paralelo a cada segmento de LED adicional;

- un dispositivo (45) de control de corriente conectado entre los terminales de entrada de controlador de LED; y

- circuitería (46) de control para controlar un estado abierto o un estado cerrado de cada dispositivo de conmutación, la circuitería de control que está adaptada para controlar el dispositivo de conmutación conectado en paralelo con el primer segmento de LED de manera que está en un estado abierto y el dispositivo de conmutación conectado en paralelo a un segmento de LED adicional para estar en un estado cerrado cuando la tensión de CA rectificada está por encima de un primer nivel de tensión y por debajo de un segundo nivel de tensión mayor que el primer nivel de tensión, y para controlar el dispositivo de conmutación conectado a un segmento de LED adicional de manera que está en un estado abierto cuando la tensión de CA rectificada está por encima del segundo nivel de tensión.

10. Un módulo de iluminación de LED que comprende:

el módulo (2) de LED de la reivindicación 3; y

un circuito (1) controlador de LED que comprende:

- terminales (50, 59) de entrada de controlador de LED adaptados para estar conectados a una tensión de CA rectificada;

- para cada segmento de LED, un dispositivo (61, 62, 63, 64) de control de corriente conectado entre un terminal del segmento de LED y un terminal (59) de entrada de controlador de LED; y

- circuitería (66) de control para controlar una corriente en cada dispositivo de control de corriente, la circuitería de control que está adaptada para controlar el dispositivo de control de corriente del primer segmento de LED de manera que permita fluir a una corriente cuando la tensión de CA rectificada está por encima de un primer nivel de tensión, y que no permita fluir a una corriente cuando la tensión de CA rectificada está por encima de un segundo nivel de tensión mayor que el primer nivel de tensión.

11. El módulo de iluminación de LED de cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, en donde al menos uno de los dispositivos de control de corriente está adaptado para modular por anchura de pulso la corriente que fluye a través del mismo.

12. Un módulo de iluminación de LED que se puede atenuar, que comprende el módulo de iluminación de LED de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, y un rectificador y un dispositivo de atenuación.

13. El módulo de iluminación de LED que se puede atenuar de la reivindicación 12, en donde el dispositivo de atenuación es un atenuador de luz de corte de ángulo de fase.

14. El módulo de iluminación de LED que se puede atenuar de la reivindicación 12, en donde el dispositivo de atenuación cambia la amplitud de la tensión.

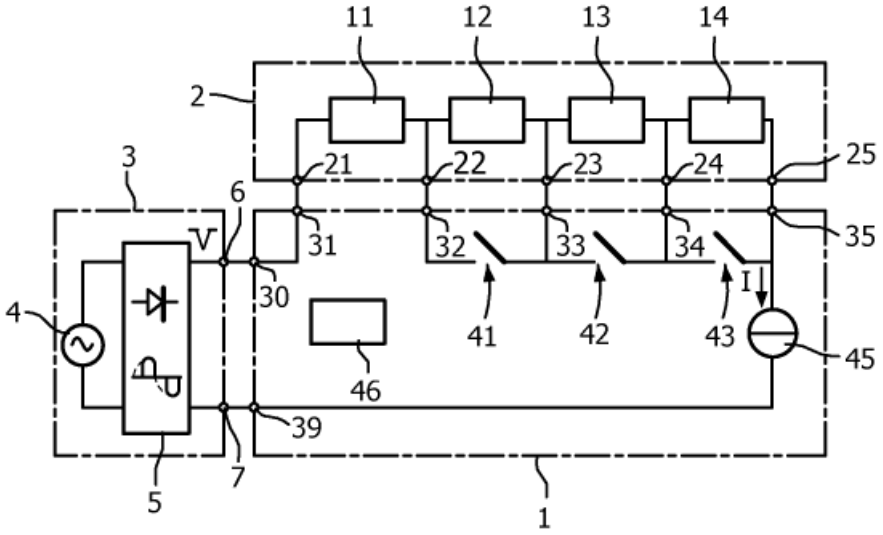
11
12
13
14
2
3
21
22
23
24
25
6
31
32
33
34
35
V
30
I
4
41
42
43
45
46
39
5
7
1

FIG. 1a

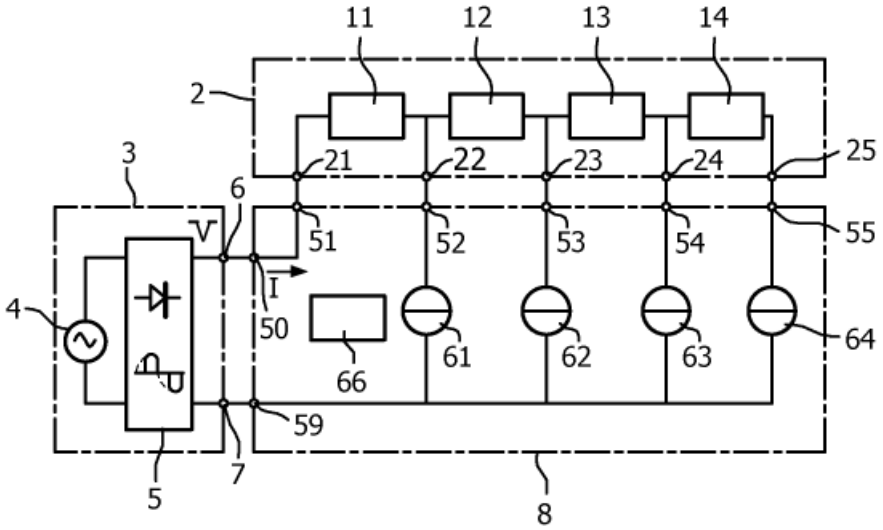
11
12
13
14
2
3
21
22
23
24
25
6
51
52
53
54
55
V
I
4
50
61
62
63
64
66
59
5
7
8

FIG. 1b

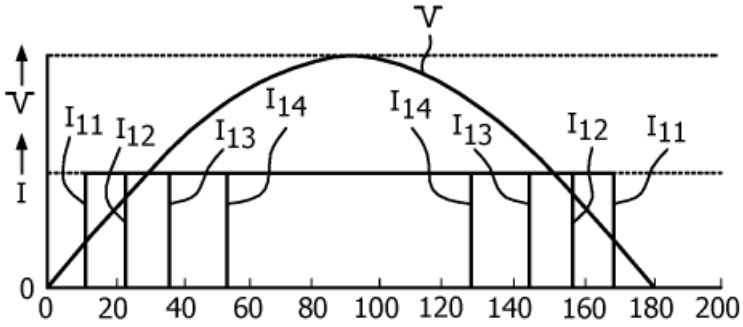
V
V
I
I11
I12
I13
I14
I14
I13
I12
I11
0
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200

FIG. 2

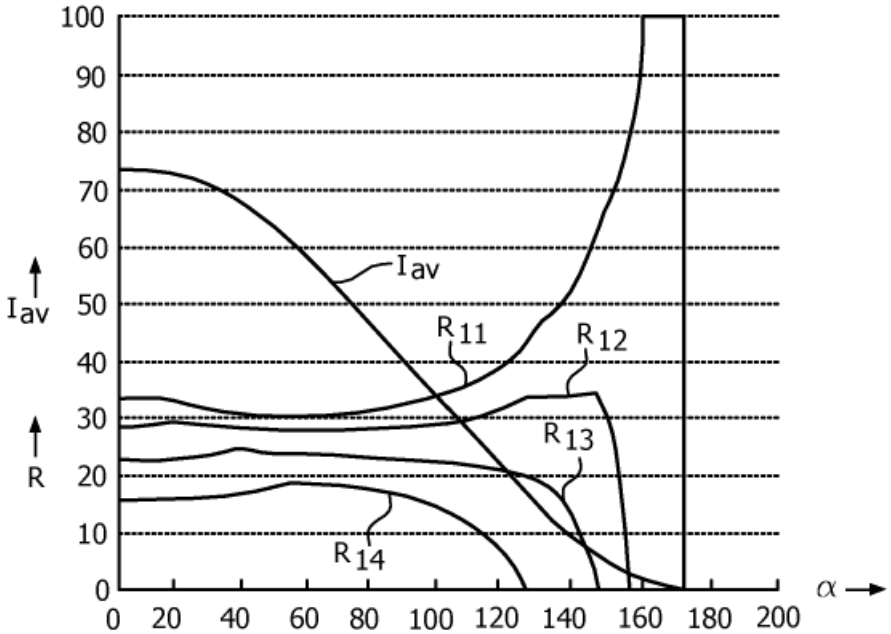
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Iav
R
Iav
R11
R12
R13
R14
α
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200

FIG. 3

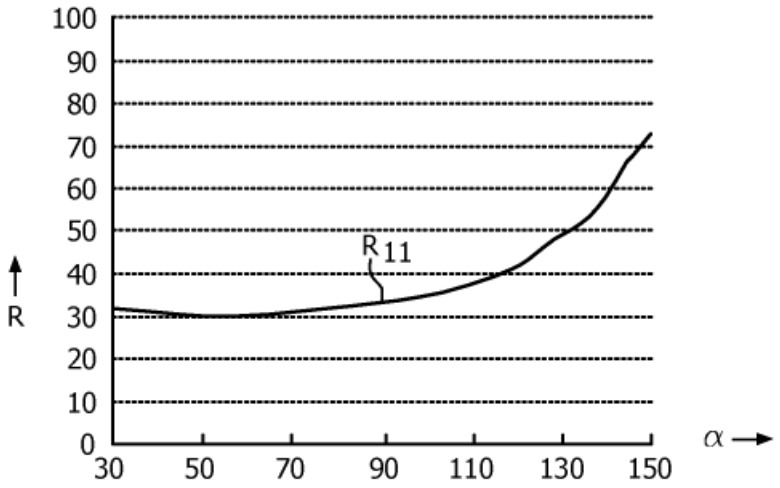

FIG. 4

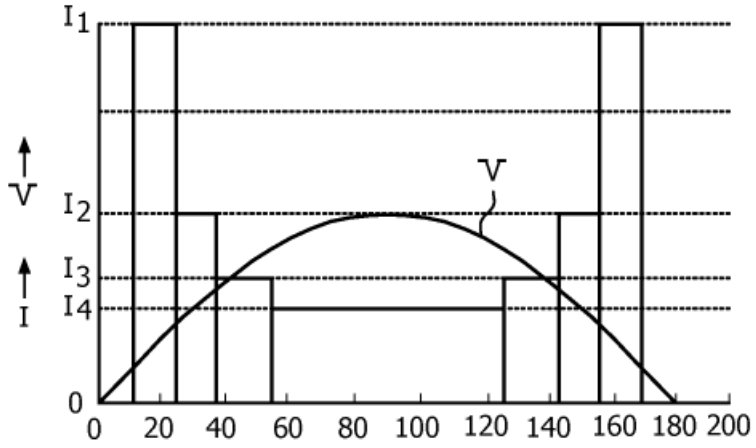
I1
V
I2
I3
I
I4
0
V
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200

FIG. 5

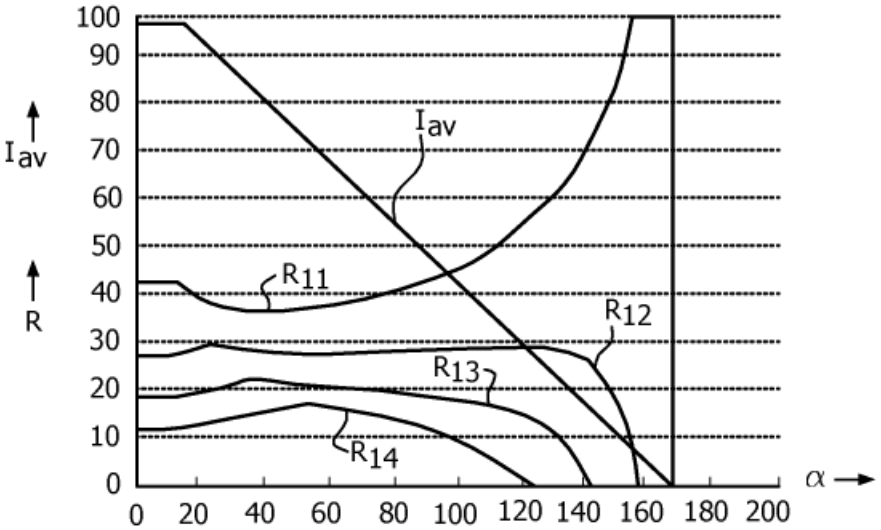
100
90
80
Iav
70
60
50
R
40
30
20
10
0
Iav
R11
R12
R13
R14
α
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200

FIG. 6

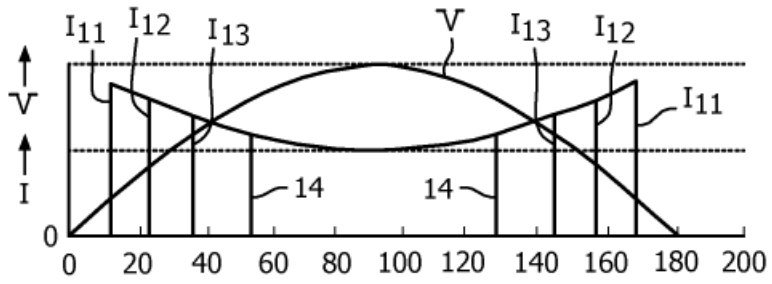
I11
I12
I13
V
I13
I12
I11
V
I
14
14
0
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200

FIG. 7

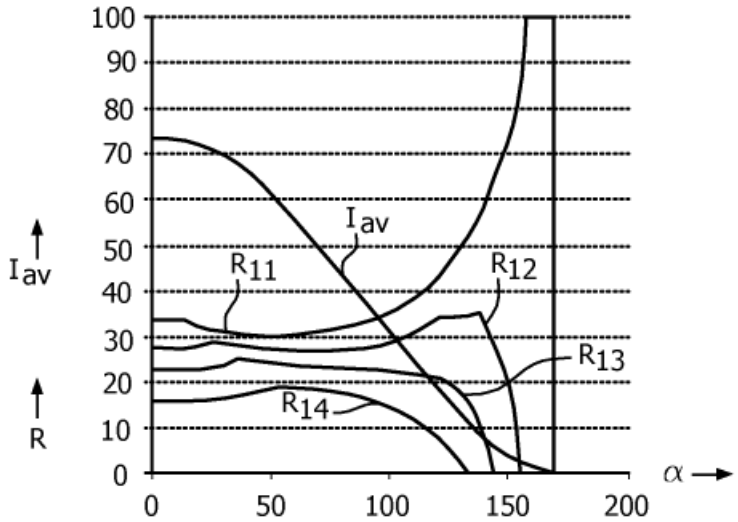
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Iav
R
Iav
R11
R12
R13
R14
0
50
100
150
200
α

FIG. 8

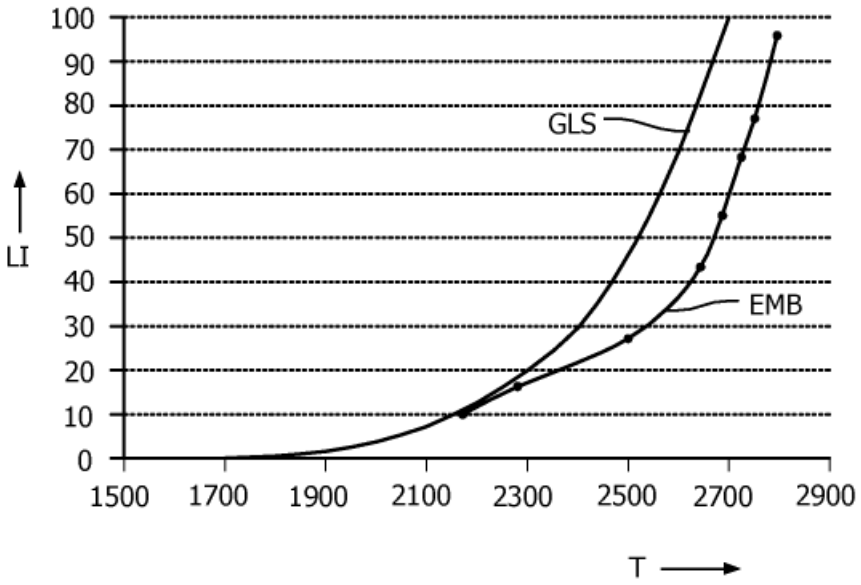
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
LI
GLS
EMB
1500
1700
1900
2100
2300
2500
2700
2900
T

FIG. 9

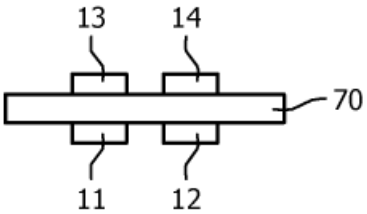
13
14
70
11
12

FIG. 10

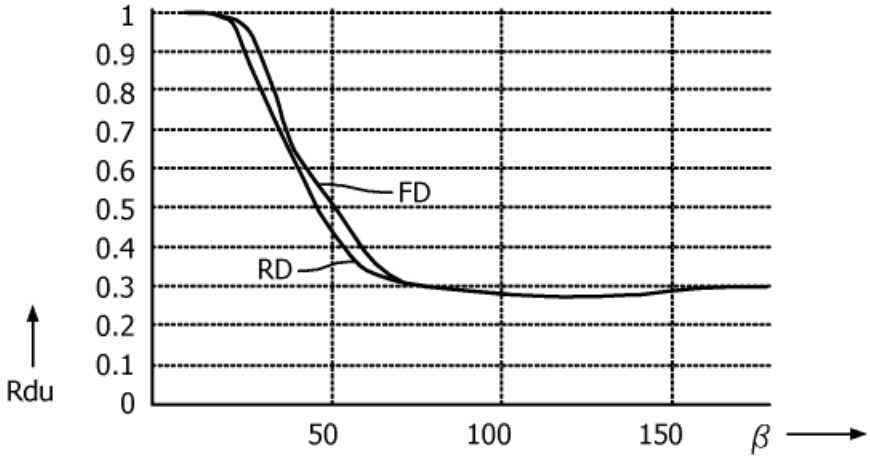

FIG. 11

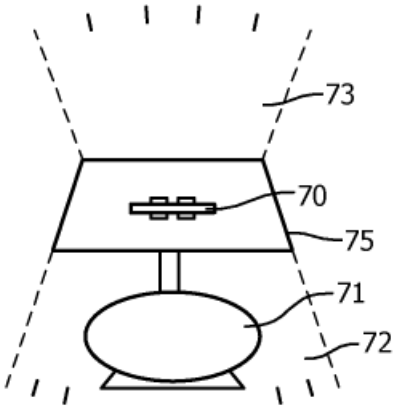

FIG. 12

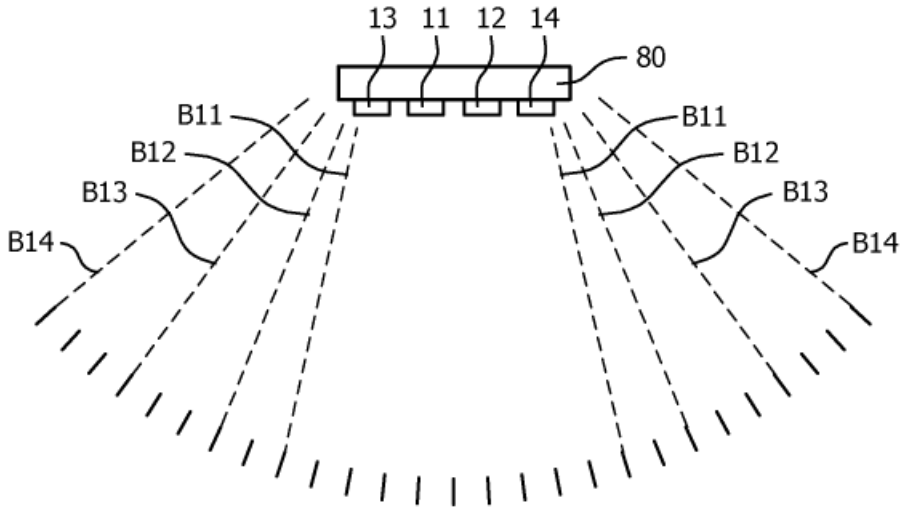

FIG. 13

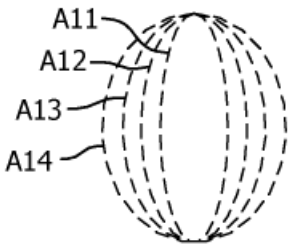

FIG. 14

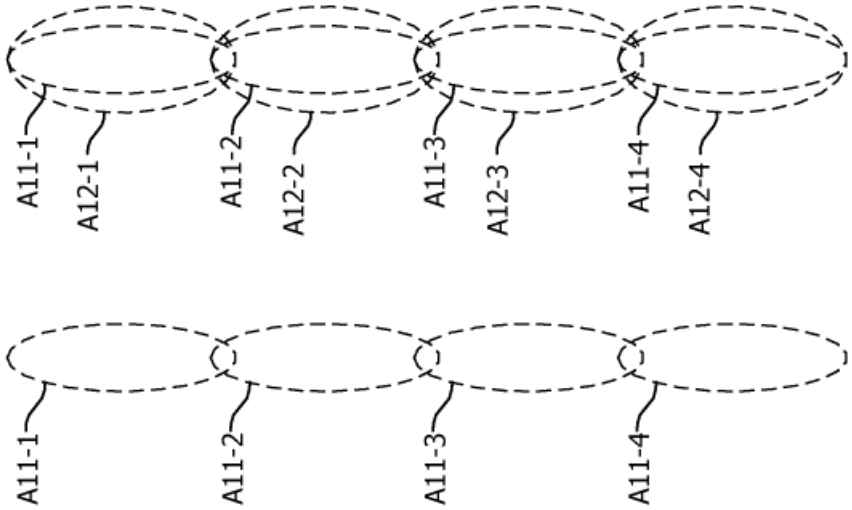

FIG. 15a

FIG. 15b

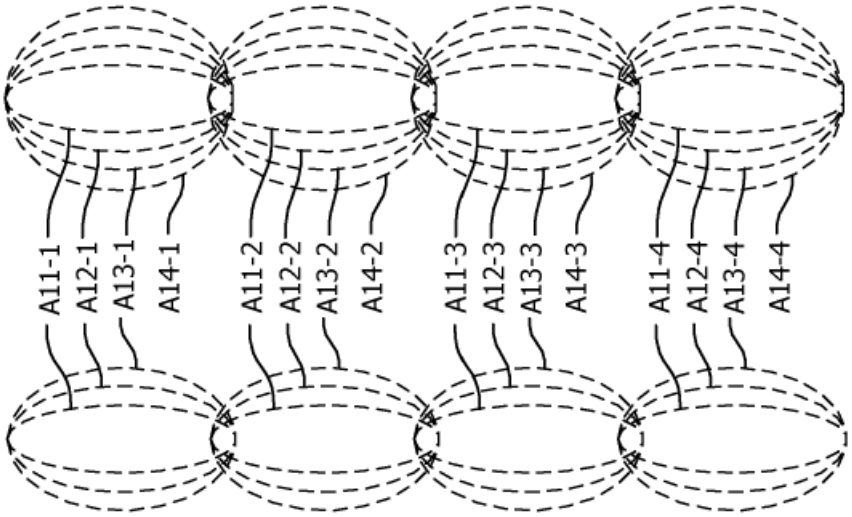

FIG. 15c

FIG. 15d