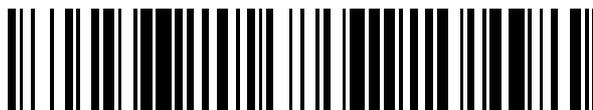


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 670 348**

51 Int. Cl.:

G01N 27/90 (2006.01)

G01R 33/14 (2006.01)

G01N 27/80 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.08.2015** **E 15002345 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.02.2018** **EP 3002583**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para pruebas de corrientes de Foucault con magnetización por impulsos**

30 Prioridad:

30.09.2014 DE 102014114226

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

30.05.2018

73 Titular/es:

**ROHMANN GMBH (100.0%)
Carl-Benz-Strasse 23
67227 Frankenthal, DE**

72 Inventor/es:

**GOPALAN, ASCHWIN;
ROTHER, MATHIAS y
SCHNEIBEL, GERALD**

74 Agente/Representante:

ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María

ES 2 670 348 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

Procedimiento y dispositivo para pruebas de corrientes de Foucault con magnetización por impulsos

5 La presente invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo para la prueba electromagnética no destructiva de un espécimen de ensayo de material ferromagnético con un electroimán, que presenta un yugo en forma de U o en forma de V con las patas del yugo apuntando hacia el espécimen de ensayo y al menos un devanado de campo que se alimenta con una señal de excitación eléctrica bipolar periódica para reimantar el espécimen de ensayo periódicamente atravesando su curva de histéresis y con una sonda de inspección de
10 corriente de Foucault colocada entre las patas del yugo, que es apta para generar un campo magnético alterno y para detectar propiedades electromagnéticas del espécimen de ensayo, en el que la señal de excitación del electroimán está pulsada.

Un procedimiento y un dispositivo de este tipo son conocidos a partir del documento DE 30 37 932 C2. En este caso,
15 el electroimán se alimenta con corriente alterna. La frecuencia con la que se atraviesa la histéresis es inferior a 10^3 s^{-1} . La frecuencia de medición de corrientes de Foucault está adaptada y se sitúa entre 5×10^4 y 10^6 s^{-1} .

En el documento EP 0 100 009 B1, el electroimán se alimenta desde una fuente de alimentación bipolar con una corriente en forma de diente de sierra para atravesar la curva de histéresis a una frecuencia entre 10^{-1} y 10^3 s^{-1} . La
20 frecuencia de medición de corrientes de Foucault es mucho más alta. Al ajustar la frecuencia de medición de corrientes de Foucault, se puede llegar a una conclusión no solo sobre la dureza del espécimen de ensayo, sino también sobre el grosor de la capa superior curada del espécimen de ensayo.

En el documento DE 10 2005 046 574 B4, la corriente de excitación periódica del electroimán se denomina
25 expresamente como sinusoidal. Dependiendo de la impedancia del electroimán, resultan frecuencias de inversión magnética de 10 a $2,4 \times 10^4 \text{ s}^{-1}$.

El documento WO 2010/138 093 A1 se refiere a un procedimiento de ensayo que se denomina "magnetic tape testing" (ensayo de cinta magnética). En un espécimen de ensayo de un material eléctrico conductor, generalmente
30 no ferromagnético, se coloca una tira de cinta magnética. Con un inductor se inducen corrientes de Foucault en el espécimen de ensayo. Los defectos en el sentido más amplio que afectan la corriente de Foucault se detectan mediante la grabación en la cinta magnética.

El inductor del documento WO 2010/138 093 A1 puede funcionar con impulsos rectangulares bipolares. Esto se
35 debe al ahorro de energía y a la evitación de un calentamiento excesivo. El semiperíodo t_2 de los pulsos rectangulares es de 0,1 a 0,4 microsegundos. La frecuencia de repetición de pulsos $1/t_1$ es de 10^3 s^{-1} . A partir de ello se obtiene un ciclo de trabajo t_2/t_1 de 1 a 4×10^{-4} .

El documento US 6 037 768 A se refiere a un comprobador de corrientes de Foucault móvil que se alimenta con una
40 tensión rectangular.

En el documento EP 1 116 952 A2 se describe el uso de sensores de campo magnético para el control sin contacto de bandas metálicas en el transcurso del paso de líneas de procesamiento de bandas o trenes de laminación.

45 El objetivo de la invención es mejorar la importancia de la prueba de dureza no destructiva de un espécimen de ensayo de material ferromagnético, expandir el espectro de parámetros de la prueba e iniciar un autocontrol de la prueba, todo ello con necesidades de energía reducidas, que es de particular importancia en las pruebas móviles.

En términos del procedimiento, se logra este objetivo según la invención porque la señal de excitación del
50 electroimán consiste en una secuencia periódica de impulsos rectangulares bipolares recurrentes cuya duración de pulso (t_i) es pequeña frente al período del tren de pulsos (t_r), de manera que el ciclo de trabajo t_i/t_r es inferior a 0,2.

En términos del dispositivo, se logra este objetivo según la invención mediante un puente completo FET que genera la señal de excitación del electroimán que consiste en una secuencia periódica de impulsos rectangulares bipolares
55 recurrentes cuya duración de pulso (t_i) es pequeña frente al período del tren de pulsos (t_r), de manera que el ciclo de trabajo t_i/t_r es inferior a 0,2.

Gracias a la corta duración del impulso t_i , el requerimiento de energía de la prueba de corrientes de Foucault con magnetización por impulsos según la invención es bajo. La señal de excitación presenta intervalos largos entre los
60 impulsos en potencial cero. En estos intervalos, se pueden llevar a cabo mediciones de prueba y control adicionales,

por ejemplo, para controlar la distancia de medición al espécimen de ensayo a modo de un autocontrol del aparato de prueba.

5 Se usa un electroimán con un yugo en forma de U o en forma de V para permitir que el campo magnético se concentre en las patas del yugo y para colocar la sonda de inspección de corrientes de Foucault en un espacio casi libre de campo magnético a mitad de camino entre las patas del yugo. Se puede realizar un ajuste con la señal de inactividad de la sonda de inspección de corrientes de Foucault. Los electroimanes de otros tipos, que no ofrecen esta característica, tales como los electroimanes con núcleo toroidal, son menos adecuados para la invención.

10 La invención tiene una aplicación preferida para el ensayo de dureza de chapa de acero. La chapa de acero laminado presenta una cascarilla de laminación muy poco homogénea en la superficie que es propensa a interferencias en las pruebas de corrientes de Foucault convencionales. La eliminación de la cascarilla de laminación antes de la prueba mediante chorros resulta laboriosa y no siempre es posible. Debido a la magnetización por impulsos según la invención en la prueba de corrientes de Foucault, se ocultan los efectos de la cascarilla y otros
15 efectos superficiales y se detectan de manera fiable los denominados "Hard spots" (endurecimientos locales) en la lámina de metal. Esto abre perspectivas considerables, sobre todo para la prueba en línea en el tren de laminación.

En una realización preferida de la invención, cada impulso de la señal de excitación presenta un flanco ascendente desde el potencial cero, una meseta con potencial positivo, un flanco que cae al potencial cero y, más allá, una
20 meseta con potencial negativo y un flanco que asciende nuevamente al potencial cero. Es evidente que los potenciales son intercambiables en sentido positivo y negativo. De la misma manera, se puede ver la progresión temporal del impulso hacia delante y hacia atrás.

En una realización preferida de la invención, las mesetas de los impulsos son del mismo potencial (V_i) en magnitud y
25 del mismo tiempo de duración. La reimpantación del espécimen de ensayo se produce en ese vaivén con la misma energía.

En una realización preferida de la invención, los flancos de los impulsos son lineales e igualmente empinados.

30 En una realización preferida de la invención, la sonda de inspección de corrientes de Foucault presenta una bobina de excitación para generar el campo magnético alterno y una bobina de detección para detectar la permeabilidad superpuesta del espécimen de ensayo. Sin embargo, la sonda de inspección de corrientes de Foucault también puede presentar una bobina paramétrica que combine las funciones de la bobina de excitación y la bobina de
35 detección.

En una realización preferida de la invención, la señal de excitación del electroimán se impulsa con 10 a 200 s^{-1} y la sonda de inspección de corrientes de Foucault se hace funcionar con 5×10^4 a $2 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$.

En una realización preferida de la invención, el campo alterno de la sonda de inspección de corrientes de Foucault
40 está sincronizado con la señal de excitación del electroimán.

El bajo requerimiento de energía de la magnetización por impulsos según la invención es de particular importancia para una prueba móvil, en la que el suministro de energía proviene de un acumulador o una batería.

45 La invención tiene en un tren de laminación otra aplicación preferida para la operación de prueba en línea.

A continuación, se explica la invención más detalladamente, con referencia a un ejemplo de realización que se muestra en el dibujo. Se muestra:

50 Figura 1 una configuración de prueba de manera esquemática; y

Figura 2 un diagrama tensión-tiempo.

La Fig. 1 muestra la configuración de la prueba con un electroimán que presenta un yugo magnético en forma de U
55 10. Alrededor de las patas del yugo 12 siempre se encuentra un devanado de campo 14. Los devanados de campo 14 están conectados eléctricamente en serie.

Un espécimen de ensayo 16 de material ferromagnético se encuentra a poca distancia enfrente de las caras
60 frontales 18 de las patas de yugo 12.

La distancia se mantiene constante gracias a una zapata deslizante de material aislante eléctrico.

Entre las patas del yugo 12 se encuentra en el centro una sonda de inspección de corrientes de Foucault 20, que funciona con corriente alterna de alta frecuencia. La señal de excitación que se muestra en la Fig. 2 se aplica a los devanados de campo 14 del electroimán.

La sonda de inspección de corrientes de Foucault 20 es un sensor absoluto en disposición emisor-receptor sin sistema central. Presenta una bobina de excitación y una bobina de detección en forma de bobina de núcleo de aire sin núcleo magnético blando. La sonda de inspección de corrientes de Foucault 20 está colocada en el centro entre las patas de yugo 12 del yugo magnético 10. Ambos devanados de campo 14 que sirven para la magnetización por impulsos están montados sobre las patas de yugo 12. La sonda de inspección de corrientes de Foucault 20 termina aproximadamente a nivel con los extremos del yugo 10. Mecánicamente, se ajusta la distancia entre el sensor y el espécimen de ensayo 16 en aproximadamente 2 mm a 3 mm. Esta distancia es crítica y no debe cambiarse durante la prueba.

La magnetización por impulsos se controla mediante un puente completo FET rápido. Con una velocidad ajustable de 100 a 200 impulsos por segundo, se comprueba el devanado de campo 14 del yugo 10 alternativamente con +24 V y -24 V. También se puede ajustar la duración t_i de los impulsos. La generación de impulsos tiene lugar de forma sincronizada con la detección de los resultados de medición mediante la sonda de inspección de corrientes de Foucault 20, es decir, la conmutación siempre tiene lugar en la misma fase en relación con la frecuencia de prueba del canal de corriente de Foucault.

La sonda de inspección de corrientes de Foucault 20 se acciona en un canal de pruebas de corrientes de Foucault estándar. La frecuencia de prueba es de aproximadamente $8 \times 10^4 \text{ s}^{-1}$. La señal se filtra con un filtro de banda. Este suprime efectivamente la señal medida fuera de los impulsos. Esto equivale a una compensación continua de la señal durante las pausas de medición. Durante un impulso de reimpantación se genera una señal más o menos grande en el canal de corrientes de Foucault. La amplitud de esta señal se usa para la evaluación.

El impulso de reimpantación provoca el paso de una parte de la curva de histéresis del material del espécimen de ensayo. La sonda de inspección de corrientes de Foucault 20 mide el cambio de la permeabilidad del espécimen de ensayo 16. Cuanto "más duro magnéticamente" sea el material, es decir, cuanto mayor sea la intensidad de campo coercitiva, menor será el impulso que detecta el sensor de corrientes de Foucault.

La prueba de corrientes de Foucault con magnetización por impulsos es particularmente adecuada para detectar diferencias microestructurales en láminas de acero con laminado ferromagnético. Comparado con una prueba de corrientes de Foucault sin magnetización por impulsos, se obtienen las siguientes ventajas:

- El procedimiento muestra una mayor insensibilidad al ruido de la cascarilla de laminación.
- Dado que se trata de un procedimiento de prueba dinámico, no es necesario compensar el sistema en el segmento "bueno" de la lámina de metal.
- Como resultado de la reimpantación rápida y alterna, las virutas no permanecen unidas al yugo magnético 10, y el espécimen de ensayo 16 se magnetiza en profundidad.

Para la detección de los denominados "Hard spots" de la láminas de acero laminadas, se aprovecha el hecho de que su dureza mecánica incrementada localmente se correlaciona con una mayor dureza magnética.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la prueba electromagnética no destructiva de un espécimen de ensayo (16) de material ferromagnético con un electroimán, que presenta un yugo (10) en forma de U o en forma de V con las patas del yugo (12) apuntando hacia el espécimen de ensayo (16) y al menos un devanado de campo (14) que se alimenta con una señal de excitación eléctrica bipolar periódica para reimantar el espécimen de ensayo (16) periódicamente atravesando su curva de histéresis y con una sonda de inspección de corrientes de Foucault (20) colocada entre las patas del yugo (12), que es apta para generar un campo magnético alterno y para detectar propiedades electromagnéticas del espécimen de ensayo (16), en el que la señal de excitación del electroimán es pulsada, **caracterizado porque** la señal de excitación del electroimán consiste en una secuencia periódica de impulsos rectangulares bipolares recurrentes cuya duración de pulso (t_i) es pequeña frente al período del tren de pulsos (t_r), de manera que el ciclo de trabajo t_i/t_r es inferior a 0,2.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** cada impulso de la señal de excitación presenta un flanco ascendente desde el potencial cero, una meseta con potencial positivo, un flanco que cae al potencial cero y, más allá, una meseta con potencial negativo y un flanco que asciende nuevamente al potencial cero.
3. Procedimiento según la reivindicación 2, **caracterizado porque** las mesetas de los impulsos son del mismo potencial (V_i) en magnitud y del mismo tiempo de duración.
4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 2 o 3, **caracterizado porque** los flancos son lineales e igualmente empinados.
5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** la señal de excitación del electroimán se impulsa con 10 a 200 s^{-1} y la sonda de inspección de corrientes de Foucault se hace funcionar con 5×10^4 a $2 \times 10^5 s^{-1}$.
6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** el campo alterno de la sonda de inspección de corrientes de Foucault (20) está sincronizado con la señal de excitación del electroimán.
7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 para para la operación de prueba en línea en un tren de laminación.
8. Dispositivo para la prueba electromagnética no destructiva de un espécimen de ensayo (16) de material ferromagnético con un electroimán, que presenta un yugo (10) en forma de U o en forma de V con las patas del yugo (12) apuntando hacia el espécimen de ensayo (16) y al menos un devanado de campo (14) que se alimenta con una señal de excitación eléctrica bipolar periódica para reimantar el espécimen de ensayo (16) periódicamente atravesando su curva de histéresis y con una sonda de inspección de corrientes de Foucault (20) colocada entre las patas del yugo (12), que es apta para generar un campo magnético alterno y para detectar propiedades electromagnéticas del espécimen de ensayo (16), en el que la señal de excitación del electroimán es pulsada, **caracterizado por** un puente completo FET que genera la señal de excitación del electroimán que consiste en una secuencia periódica de impulsos rectangulares bipolares recurrentes cuya duración de pulso (t_i) es pequeña frente al período del tren de pulsos (t_r), de manera que el ciclo de trabajo t_i/t_r es inferior a 0,2.
9. Dispositivo según la reivindicación 8, **caracterizado porque** cada impulso de la señal de excitación presenta un flanco ascendente desde el potencial cero, una meseta con potencial positivo, un flanco que cae al potencial cero y, más allá, una meseta con potencial negativo y un flanco que asciende nuevamente al potencial cero.
10. Dispositivo según la reivindicación 9, **caracterizado porque** las mesetas de los impulsos son del mismo potencial (V_i) en magnitud y del mismo tiempo de duración.
11. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, **caracterizado porque** la sonda de inspección de corrientes de Foucault (20) presenta una bobina de excitación para generar el campo magnético alterno y una bobina de detección para detectar la permeabilidad superpuesta del espécimen de ensayo (16).
12. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, **caracterizado porque** la sonda de inspección de corrientes de Foucault (20) presenta una bobina paramétrica.

13. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12, **caracterizado porque** la señal de excitación del electroimán se impulsa con 10 a 200 s⁻¹ y la sonda de inspección de corrientes de Foucault se hace funcionar con 5 x 10⁴ a 2 x 10⁵ s⁻¹.

5

14. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 13, **caracterizado porque** el campo alterno de la sonda de inspección de corrientes de Foucault (20) está sincronizado con la señal de excitación del electroimán.

10 15. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 14 para una prueba móvil, en la que el suministro de energía proviene de un acumulador o una batería.

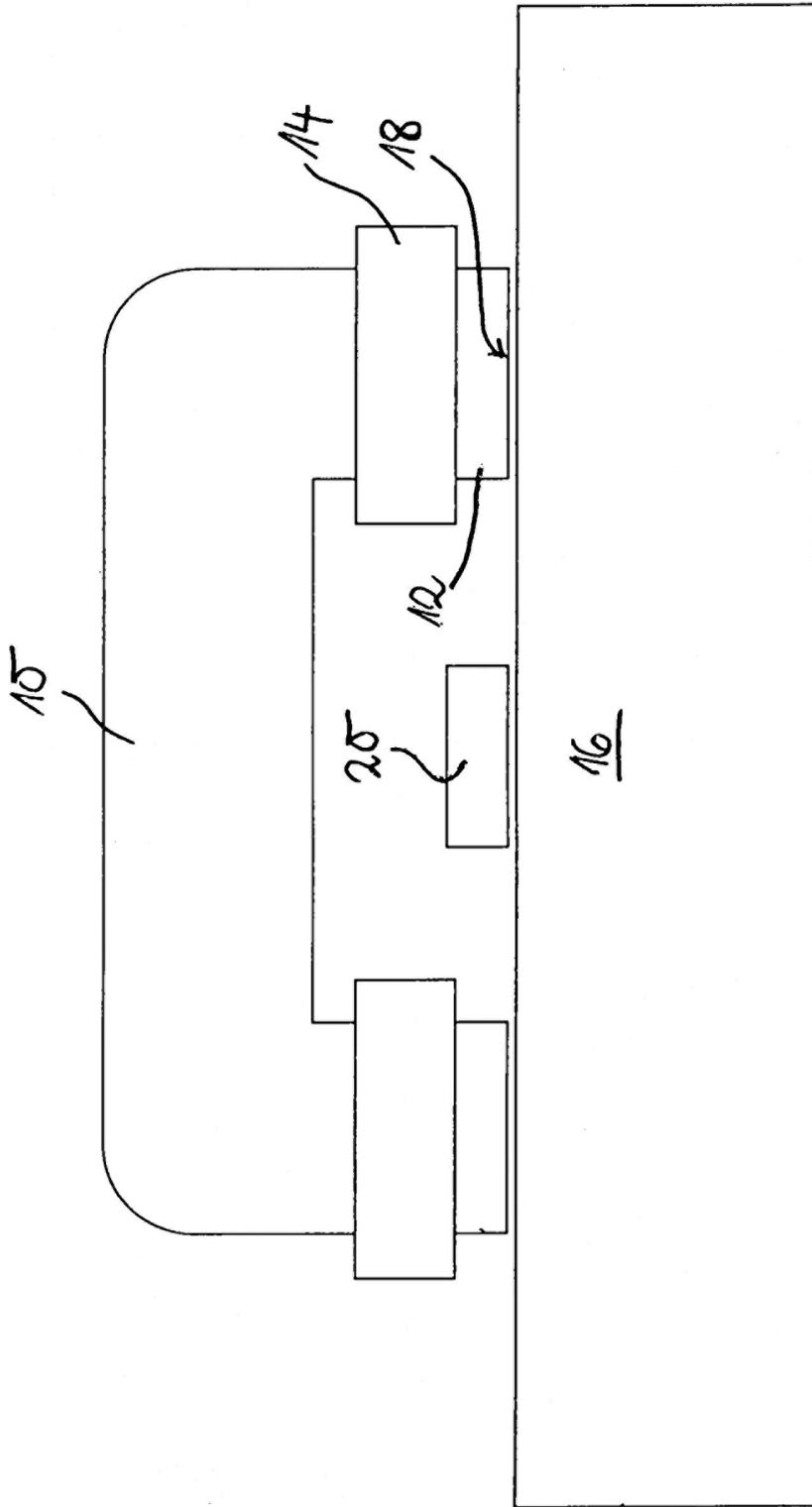


Fig. 1

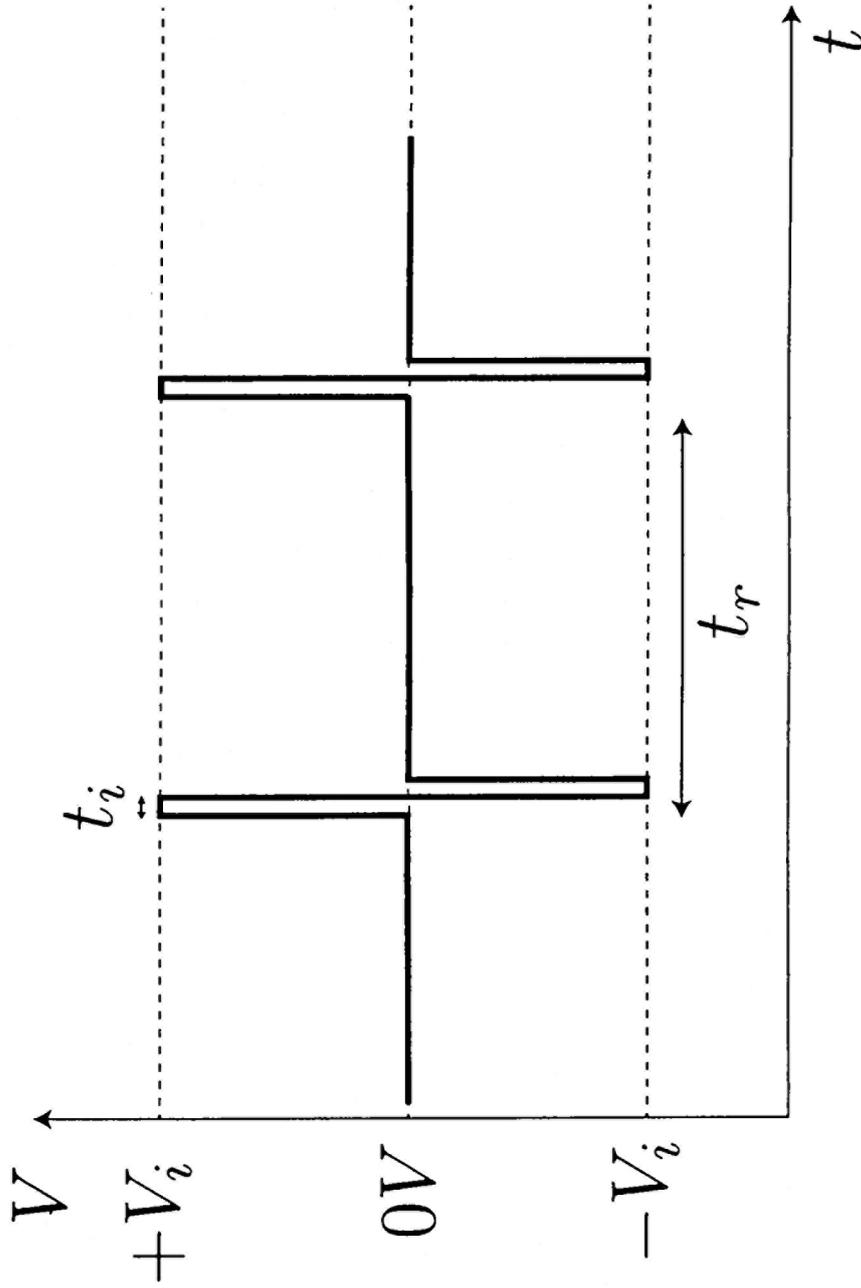


Fig. 2