

(19)



(11)

EP 3 447 602 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
27.02.2019 Patentblatt 2019/09

(51) Int Cl.:
G05F 1/14 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **17187264.1**

(22) Anmeldetag: **22.08.2017**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
MA MD

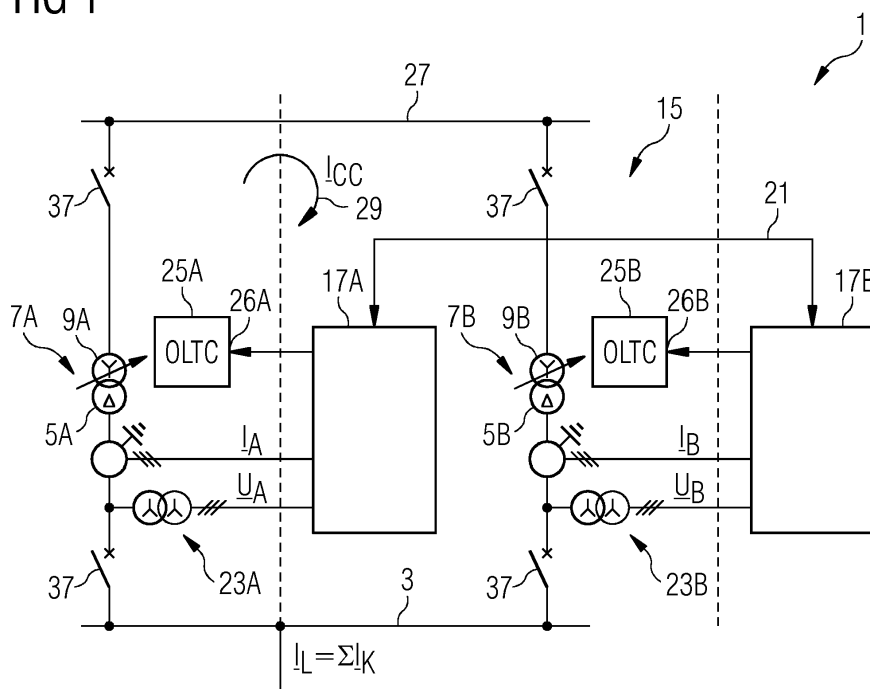
(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)

(72) Erfinder:
• **Mieske, Frank**
13053 Berlin (DE)
• **Wang, Yuting**
13629 Berlin (DE)

(54) **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM REGELN DER SPANNUNG EINES TRANSFORMATORSYSTEMS**

(57) Bereitgestellt ist ein Verfahren zum Steuern eines Wertes einer Spannung an einem Leiter (3), an dem zumindest eine Sekundärwindung (5A) eines ersten stufbaren Transformators (7A) und eine Sekundärwindung (5B) eines zweiten stufbaren Transformators (7B) angeschlossen sind, wobei das Verfahren aufweist: falls eine Spannungsabweichung (D_V) der Spannung an dem Leiter (3) von einem Spannungssollwert innerhalb einer ersten Bandbreite ($[-B_{CC_DV}, B_{CC_DV}]$) um den Spannungssollwert liegt, und falls eine Gesamtabweichung (D_A, D_B)

einer Summe aus der Spannungsabweichung (D_V) und einer Blindstromabweichung (D_{CCA}, D_{CCB}) von dem Spannungssollwert jeweils für der ersten und den zweiten Transformator außerhalb einer zweiten, größeren als der ersten, Bandbreite ($[-B_C, B]$) um den Spannungssollwert liegt: Setzen einer Verzögerungszeit (T_1) zum Stufen des ersten Transformators (7A) und/oder des zweiten Transformators (7B) derart, dass eine der Spannungsabweichung entgegenwirkende Stufung des ersten oder des zweiten Transformators priorisiert wird.

FIG 1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Regeln eines Wertes einer Spannung an einem Leiter, an dem zumindest eine Sekundärwindung eines ersten stufbaren Transformators und eine Sekundärwindung eines zweiten stufbaren Transformators angeschlossen sind. Ferner betrifft die vorliegende Erfindung ein Transformatorsystem, welches die Vorrichtung sowie zwei stufbare Transformatoren aufweist.

[0002] Aus dem Stand der Technik ist bekannt, dass zwei oder mehr Transformatoren parallel auf eine Sammelschiene geschaltet werden, um die zu liefernde Leistung zwischen den Transformatoren aufzuteilen damit der einzelne Transformator nicht überlastet wird. Falls jedoch zwei oder mehr Transformatoren auf die gleiche Sammelschiene speisen und die Spannungsregler unabhängig voneinander auf den Sollspannungswert regeln, kann es aufgrund der unterschiedlichen Leerlaufspannungen der Transformatoren zu Ausgleichsströmen kommen. Da der Scheinwiderstand der Transformatoren hauptsächlich induktiv ist, können sich im Wesentlichen Kreisblindströme bilden.

[0003] Derartige Kreisblindströme sind unerwünscht, da sie zu einer erhöhten Verlustleistung der Transformatoren führen können. Neben einer Spannungsabweichung von dem Spannungssollwert ist herkömmlicherweise als ein zusätzliches Regelkriterium der Spannungsregelung daher ferner der Kreisblindstrom herangezogen worden, um diesen zu minimieren.

[0004] Bei einem herkömmlichen Spannungsregler wird um den Sollspannungswert ein Spannungsband bzw. eine Bandbreite B definiert. Liegt die gemessene Spannung außerhalb dieser Bandbreite, wird nach einer einstellbaren zeitlichen Verzögerung ein Stufungsbefehl an einen Stufenschalter gegeben, womit durch die

[0005] Änderung der Leerlaufspannung des Transformators die Spannung wieder in das Spannungsband zurückkehrt. Der Einstellwert der Bandbreite wird mindestens so groß festgelegt, dass bei einem Höher- bzw. Tieferstufen um den Sollwert die Bandbreite nicht durchfahren wird. Andernfalls hätte es ein endloses Hin- und Herstufen zur Folge. Mit der Spannungsregelung für parallele Transformatoren nach der Kreisblindstrom-Methode wird zusätzlich zu der Spannungsabweichung an jedem parallelen Transformator der Kreisblindstrom ermittelt und eine Regelabweichung basierend auf den Kreisblindstrom zu der Regelabweichung durch die Spannung addiert.

[0006] Die Regelabweichung DCC resultierend aus dem Kreisblindstrom kann im Allgemeinen nach folgender Formel berechnet werden:

$$DCC = (k * ICC * X * \text{Wurzel}(3) * 100 \%) / UN$$

k - einstellbarer Kreisblindstromregelfaktor

ICC - Kreisblindstrom

X - Transformatorlängsreaktanz berechnet aus Kurzschlussspannung

UN - Transformatornennspannung

[0007] Aus der Summe von Spannungsabweichung und der Kreisblindstromabweichung wird die Gesamtabweichung D ermittelt und mit der Bandbreite verglichen:

$$D = DV + DCC$$

[0008] Bei zwei parallelen Transformatoren ergibt sich bei einer Differenz der Leerlaufspannungen genau der entgegengesetzte Kreisblindstrom und damit genau die entgegengesetzte Kreisblindstromabweichung D_{CC} . Falls die gemessene Spannung an beiden Transformatoren der Sollspannung entspricht, ergibt sich damit an beiden Spannungsreglern genau die entgegengesetzte Gesamtabweichung D.

[0009] Beispielhaft habe ein erster Transformator A eine höhere Stufe und damit eine höhere Leerlaufspannung als ein zweiter Transformator B. Damit ist die Kreisblindstrom-Spannungsabweichung D_{CC} positiv. In diesem Beispiel würden gemäß einem herkömmlichen Regelungsverfahren beide Regler zur Steuerung der Transformatoren stufen, da bei einem der Transformatoren die Blindstromabweichung größer als der Schwellwert der Bandbreite ist und bei dem anderen Transformator die Blindstromabweichung kleiner als das Negative des Schwellwerts der Bandbreite ist.

[0010] Nach einer entgegengesetzten Stufung von beiden Reglern würde der identische Fall mit vertauschten Rollen auftreten. Die Regler gemäß dem Stand der Technik würden nachfolgend endlos stufen. Die Regelung arbeitet somit herkömmlicherweise nicht stabil und damit kann ein unnötiger Verschleiß der Stufenschalter verbunden sein. Die Regler würden nachfolgend endlos stufen. Hier wären zusätzliche Maßnahmen notwendig, um ein unnötiges Stufen zu vermeiden.

[0011] Herkömmlich sind auch Spannungsregler mit zwei verschiedenen Zeitcharakteristiken eingesetzt worden. Bei

der linearen Zeitcharakteristik wird unabhängig von der Regelabweichung mit einer konstanten Regelabweichung geregelt. Bei der inversen Zeitcharakteristik ist die Verzögerungszeit umgekehrt proportional zur Regelabweichung D. Die Einstellung der Verzögerungszeit für Spannungsabweichungen wird durch den Netzbetreiber vorgegeben, damit eine übergeordnete Koordination bei radialen Netzen möglich ist. Damit ist eine feste unterschiedliche Parametrierung nicht erwünscht. Außerdem sollen bei einem Spannungseinbruch durch Lastzuschaltung beide Regler nach gleicher Verzögerungszeit stufen.

[0012] Im Stand der Technik ist auch ein Spannungsregler vorgeschlagen worden, bei dem man einen Regler für den Kreisblindstrom empfindlicher einstellt als den anderen. Dies hat jedoch den Nachteil, dass bei einer Spannungsabweichung innerhalb des Spannungsbandes sich in dem empfindlichen Regler keine Regelabweichung ergibt, da sich D_V und D_{CC} aufheben und in dem unempfindlichen Regler D die Bandbreite B nicht überschreitet. Es kann sich somit eine schlechte Regelgüte ergeben und der Kreisblindstrom wird nicht zufriedenstellend ausgeregelt.

[0013] Somit ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zum Steuern eines Wertes einer Spannung an einem Leiter zu schaffen, an dem zumindest eine Sekundärwindung eines ersten stufbaren Transformators und eine Sekundärwindung eines zweiten stufbaren Transformators angeschlossen sind, wobei eine zuverlässige Steuerung erreicht ist, wobei Verschleiß von Komponenten, insbesondere Verschleiß von Stufungsschaltern von Transformatoren vermindert ist.

[0014] Die Aufgabe wird durch die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche gelöst. Die abhängigen Ansprüche spezifizieren besondere Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung.

[0015] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung setzen eine zeitliche Stufen-Priorisierung ein, um eine Spannungsregelung zu stabilisieren. Die Stabilisierung des Reglers wird im Sinne der zeitlichen Stufen-Priorisierung eingesetzt, falls die Spannungsabweichung sich innerhalb eines bestimmten Bereichs der Bandbreite befindet. Dieser bestimmte Bereich der Bandbreite wird im Folgenden auch als Priorisierungsbandbreite bezeichnet, wobei die Priorisierungsbandbreite kleiner ist als die herkömmlich verwendete Bandbreite.

[0016] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist bereitgestellt ein Verfahren zum Steuern eines Wertes einer Spannung an einem Leiter, an dem zumindest eine Sekundärwindung eines ersten stufbaren Transformators und eine Sekundärwindung eines zweiten stufbaren Transformators angeschlossen sind, wobei das Verfahren aufweist: falls eine Spannungsabweichung der Spannung an dem Leiter von einem Spannungssollwert innerhalb einer ersten Bandbreite um den Spannungssollwert liegt, und falls eine Gesamtabweichung einer Summe aus der Spannungsabweichung und einer Blindstromabweichung von dem Spannungssollwert jeweils für der ersten und den zweiten Transformator außerhalb einer zweiten, größeren als der ersten, Bandbreite um den Spannungssollwert liegt: Setzen einer Verzögerungszeit zum Stufen des ersten Transformators und/oder des zweiten Transformators derart, dass eine der Spannungsabweichung entgegenwirkende Stufung des ersten oder des zweiten Transformators priorisiert wird.

[0017] Das Verfahren kann teilweise in Hardware und/oder Software implementiert sein, insbesondere durch ein Computerverfahren implementiert sein. Der Leiter, an dem die Sekundärwindungen des ersten und des zweiten Transformators angeschlossen sind, wird auch als eine Sammelschiene bezeichnet.

[0018] Die Transformatoren können Stufenschalter jeder bekannten Art aufweisen. Durch Betätigung der Stufenschalter kann eine Leerlaufspannung des jeweiligen Transformators eingestellt werden. Dabei kann eine Stufung an einer Primärwindung oder auch der Sekundärwindung erfolgen. Eine Stufung, welche an der Primärstufe vorgenommen wird, kann vorteilhaft sein, da aufgrund der höheren Spannung an der Primärwindung der Strom (insbesondere im Lastbetrieb) geringer sein kann als ein durch die Sekundärschule fließender Strom.

[0019] Zur Regelung des Sollspannungswerts auf der Sammelschiene (die mit entsprechenden Sekundärwindungen der Transformatoren elektrisch verbunden ist), werden stufbare Transformatoren eingesetzt, bei denen an verschiedenen Stellen der Primärwindung und/oder der Sekundärwindung abgegriffen werden kann. Zum Stufen der Transformatoren können sogenannte Stufenschalter verwendet werden, welche zur Einstellung des Übersetzungsverhältnisses dienen. Dazu kann die Wicklung bzw. die Spule des Transformators auf der Primärseite und/oder der Sekundärseite eine Stammwicklung und eine Regel- oder Stufenwicklung mit mehreren Anzapfungen aufweisen, die an den Stufenschalter geführt werden. Unter den Stufenschalter sind sogenannte Laststufenschalter (englisch *onload tap changer*, OLTC) und Umsteller (englisch *NLTC no load tap changer*, DETC *deenergized tap changer* oder OCTC, *off circuit tap changer*) bekannt. Laststufenschalter können zur unterbringungs-freien Umschaltung unter Last dienen und können in Lastwähler und Lastschalter unterteilt werden. Dabei kann eine Stufenschaltersäule entweder eine oder mehrere Phasen, z.B. drei Phasen schalten.

[0020] Um die Spannungsabweichung und den Blindstrom zu messen, kann eine Messvorrichtung vorgesehen sein, die sowohl den Strom bei den Sekundärwindungen als auch jeweils den von den Sekundärwindungen dem Leiter fließenden Strom misst. Sowohl die Spannungsabweichung als auch die Blindstromabweichung kann dabei z.B. als ein Anteil oder Prozentsatz der Differenz zu dem Spannungssollwert bzw. einem Blindstromsollwert von Null angegeben oder definiert sein.

[0021] Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet eine optimierte Berechnung der Regelabweichung resultierend aus dem Kreisblindstrom:

$$DCC = (k * ICC * (X + TermA) * \sqrt{3} * 100 \%) / UN \quad (2)$$

$$TermA = X / (X * BP - 1) \quad (3)$$

k - einstellbare Kreisblindstromregelfaktor

ICC - Kreisblindstrom

X - Transformatorlängsreaktanz berechnet aus Kurzschlussspannung

BP - Gesamtblindleitwert bzw. Gesamtsuszeptanz aller parallelen Transformatoren

UN - Transformatornennspannung

[0022] Mit der Addition des Terms $X / (X * BP - 1)$ zu der Transformatorreaktanz wird die Regelempfindlichkeit genau so verstärkt, dass bei minimaler Stufendifferenz die Regelabweichung hervorgerufen durch den Kreisblindstrom DCC überschritten wird. Durch diese Optimierung kann der Einstellwert der Regelempfindlichkeit in den meisten Fällen auf den Voreinstellwert von 1 beibehalten werden und damit ist ohne aufwändige Inbetriebsetzung eine sehr gute Regelempfindlichkeit und Regelstabilität gegeben. Bei herkömmlichen Reglern muss der optimale Faktor während der Inbetriebsetzung ermittelt werden.

[0023] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung verwenden zwei Bandbreiten, insbesondere eine erste Bandbreite und eine zweite Bandbreite. Herkömmliche Verfahren verwenden lediglich eine einzige Bandbreite, insbesondere die zweite Bandbreite. Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung adressieren eine Regelinstabilität in dem Falle, in dem die Spannungsabweichung relativ gering ist und die Blindstromabweichungen entgegengesetzt und von gleichem Betrag sind. Herkömmliche Verfahren und Vorrichtungen haben für diesen Fall ständig auf- und abgestuft, was zu Beschädigungen und Verschleiß an Komponenten geführt hat.

[0024] Gemäß Ausführungsformen der Erfindung wird jedoch eine Verzögerungszeit für den Fall gesetzt, dass die Spannungsabweichung innerhalb einer ersten Bandbreite um den Spannungssollwert liegt. Die Verzögerungszeit (eines des ersten oder des zweiten Transformators) kann definieren, wie lange eine gewisse Abweichung mindestens vorliegen muss, um eine Stufung des entsprechenden Transformators durchzuführen. Um die Stufung eines bestimmten Transformators zu priorisieren, kann die Verzögerungszeit des jeweils anderen Transformators erhöht werden. Ist die Verzögerungszeit eines bestimmten Transformators erhöht, entspricht dies einem strengerem Kriterium zum Auslösen einer Stufung des jeweiligen Transformators. Wenn z.B. die Spannungsabweichung negativ ist, kann ein Höherstufen desjenigen Transformators priorisiert werden (durch Vergrößern der entsprechenden Verzögerungszeit des anderen Transformators), der eine negative Gesamtabweichung zeigt. Damit ist ein einfaches Verfahren zum Stabilisieren der Regelung bereitgestellt.

[0025] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird eine Verzögerungszeit desjenigen Transformators, für den die Gesamtabweichung ein anderes Vorzeichen hat als die Spannungsabweichung, größer gesetzt als eine andere Verzögerungszeit für den anderen Transformator.

[0026] Damit wird der Transformator bei der Stufung priorisiert, welcher eine Gesamtabweichung hat, die ein gleiches Vorzeichen hat wie die Spannungsabweichung. Dabei können die Stufung bzw. der Spannungsschritt bei Höherstufen bzw. Niederstufen und die zweite Bandbreite in Abhängigkeit voneinander so gewählt werden, dass Höherstufung bzw. bei Niederstufung die Leerlaufspannung am Ausgang der Sekundärwindung nicht aus dem zweiten Bandbereich herausführt. Damit kann ein ständiges Hin- und Herschalten verhindert werden.

[0027] Das Verfahren kann derart ausgestaltet sein, dass, falls die Gesamtabweichung und/oder Blindstromabweichung für mindestens die größer gesetzte Verzögerungszeit außerhalb der zweiten Bandbreite liegt, der entsprechende Transformator höher gestuft wird, falls die Gesamtabweichung negativ ist und niedriger gestuft wird, falls die Gesamtabweichung positiv ist, wobei die Stufung belassen wird, falls die Gesamtabweichung für kürzer als die größer gesetzte Verzögerungszeit außerhalb der zweiten Bandbreite liegt.

[0028] Ein gegebener Transformator wird nur dann höher gestuft bzw. niedriger gestuft, wenn die entsprechende oder jeweilige Gesamtabweichung für eine Zeitdauer außerhalb des zweiten Bandbereichs liegt, welche Zeitdauer mindestens so groß ist für die aktuell eingestellte Verzögerungszeit. Durch Veränderung der Verzögerungszeit kann somit ein Kriterium verändert werden gemäß dem eine Stufung erfolgt.

[0029] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist das Verfahren derart ausgestaltet, dass bei Höherstufung eines der Transformatoren eine höhere, bei Tieferstufung eines der Transformatoren eine niedrigere Spannung am Ausgang der Sekundärwindung des jeweiligen Transformators anliegt, wobei die Höherstufung und/oder Tieferstufung durch entsprechenden Abgriff an einer jeweiligen Primärwindung (und/oder Sekundärwindung) erfolgt, dessen Eingang mit einem weiteren Leiter verbunden ist, an dem insbesondere eine Hochspannung zwischen 70 kV und 400 kV anliegt, wobei der Spannungssollwert insbesondere zwischen 5 kV und 20 kV liegt.

[0030] Eine Tieferstufung bzw. Höherstufung kann durch Änderung des Abgriffs an der Primärwindung und/oder an der Sekundärwindung erreicht werden.

[0031] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist die größer gesetzte Verzögerungszeit zwischen 1,5 und 2,5-mal, insbesondere 2-mal der anderen Verzögerungszeit. Damit kann eine effektive Stabilisierung der Regelung erreicht werden.

[0032] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung hat die Gesamtabweichung für den anderen Transformator (dessen Verzögerungszeit nicht erhöht wird) ein gleiches Vorzeichen wie die Spannungsabweichung. Dieser andere Transformator wird hinsichtlich einer Stufung priorisiert, um der Spannungsabweichung entgegenzuwirken.

[0033] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist das Verfahren derart ausgestaltet, dass wenn die Spannungsabweichung negativ ist, die Verzögerungszeit für den- bzw. diejenigen Spannungsregler größer gesetzt wird, die die Bandbreite überschreiten, also tiefer stufen.

[0034] Dieses gilt bei:

$$DV \leq 0$$

$$-BCC_DV < DV < BCC_DV$$

$$DCC, D > B$$

[0035] wobei

die erste Bandbreite durch den Bereich $[-BCC_DV, BCC_DV]$ gegeben ist,

die zweite Bandbreite durch den Bereich $[-B, B]$ gegeben ist, DV die Spannungsabweichung ist,

DCC die Blindstromabweichung ist,

D die Gesamtabweichung ist,

Z.B. kann die größer gesetzte Verzögerungszeit zwischen 1,5 und 2,5-mal, insbesondere 2-mal, der anderen Verzögerungszeit sein.

[0036] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist das Verfahren derart ausgestaltet, dass wenn die Spannungsabweichung positiv ist, die Verzögerungszeit für die Spannungsregler größer gesetzt werden, die die Bandbreite unterschreiten, also höher stufen.

[0037] Dieses gilt bei:

$$Dv > 0$$

$$-BCC_DV < Dv < BCC_DV$$

$$DCC, D < -B$$

[0038] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist die erste Bandbreite zwischen 0,3 und 0,7-mal, insbesondere 0,5-mal der zweiten Bandbreite. Andere Werte sind möglich.

[0039] Es sollte verstanden werden, dass Merkmale, die individuell oder in irgendeiner Kombination im Zusammenhang mit einem Verfahren zum Steuern eines Wertes einer Spannung an einem

[0040] Leiter beschrieben, erläutert oder bereitgestellt sind, ebenso gut, individuell oder in irgendeiner Kombination, für eine Vorrichtung zum Steuern eines Wertes einer Spannung an einem Leiter eingesetzt werden können, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, oder umgekehrt.

[0041] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist bereitgestellt eine Vorrichtung zum Steuern eines Wertes einer Spannung an einem Leiter, an dem zumindest eine Sekundärwindung eines ersten stufbaren Transformators und eine Sekundärwindung eines zweiten stufbaren Transformators angeschlossen sind, wobei die Vorrichtung aufweist: eine Logikeinheit die ausgebildet ist, falls eine Spannungsabweichung der Spannung an dem Leiter von einem Spannungssollwert innerhalb einer ersten Bandbreite um den Spannungssollwert liegt, und falls eine Gesamtabweichung einer Summe aus der Spannungsabweichung und einer Blindstromabweichung von dem Spannungssollwert jeweils für den ersten und den zweiten Transformator außerhalb einer zweiten, größeren als der ersten, Bandbreite um den Span-

nungssollwert liegt, eine Verzögerungszeit zum Stufen des ersten Transformators und/oder des zweiten Transformators derart zu setzen, dass eine der Spannungsabweichung entgegenwirkende Stufung des ersten oder des zweiten Transformators priorisiert wird.

[0042] Die Vorrichtung kann ferner eine Messvorrichtung zum Messen des Wertes der Spannung und von Werten eines Blindstroms des ersten Transformators und des zweiten Transformators umfassen.

[0043] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist bereitgestellt ein Transformatorsystem, aufweisend: einen ersten stufbaren Transformator und einen parallel dazu geschalteten zweiten stufbaren Transformator; und eine Vorrichtung zum Steuern eines Wertes einer Spannung gemäß einer der vorangehend beschriebenen Ausführungsformen.

[0044] In dem Transformatorsystem kann zumindest einer des ersten und des zweiten Transformators einen Laststufenschalter aufweisen.

[0045] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden nun mit Bezug auf die beiden Zeichnungen erläutert. Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die beschriebenen oder illustrierten Ausführungsformen beschränkt.

Fig. 1 illustriert schematisch ein Transformatorsystem mit einer Vorrichtung zum Steuern eines Wertes einer Spannung an einem Leiter gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung; und
Fig. 2 und 3 illustrieren Balkendiagramme, mit Abweichungen, die in Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung betrachtet werden.

[0046] Fig. 1 illustriert schematisch ein Transformatorsystem 1 zum Steuern eines Wertes einer Spannung an einem Leiter 3, an dem zumindest eine Sekundärwindung 5A eines ersten stufbaren Transformators 7A und eine Sekundärwindung 5B eines zweiten stufbaren Transformators 7B angeschlossen sind, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Das in Fig. 1 schematisch illustrierte Transformatorsystem 1 weist einen ersten stufbaren Transformator 7A und einen zweiten parallel dazu geschalteten stufbaren Transformator 7B auf, sowie eine Vorrichtung 13 zum Steuern eines Wertes einer Spannung an einem Leiter 3.

[0047] Die Vorrichtung 13 weist eine Logikeinheit 15 auf, welche im illustrierten Ausführungsbeispiel durch einen ersten Spannungsregler 17A und einem zweiten Spannungsregler 17B gebildet ist, welche durch eine Kommunikationsleitung 21 miteinander verbunden sind. Die Logikeinheit 15 ist ausgebildet, falls eine Spannungsabweichung D_V der Spannung an dem Leiter von einem Spannungssollwert innerhalb einer ersten Bandbreite $[-B_{CC_DV}, B_{CC_DV}]$ um den Spannungssollwert liegt, und falls eine Gesamtabweichung D einer Summe aus der Spannungsabweichung D_V und einer Blindstromabweichung D_{CC} von dem Spannungssollwert jeweils für den ersten und den zweiten Transformator außerhalb einer zweiten, größeren als der ersten, Bandbreite $[-B, B]$ um den Spannungssollwert liegt, eine Verzögerungszeit T_1 zum Stufen des ersten Transformators 7A und/oder des zweiten Transformators 7B derart zu setzen, dass eine der Spannungsabweichung entgegenwirkende Stufung des ersten oder des zweiten Transformators priorisiert wird.

[0048] Insbesondere ist die Logikeinheit 15 ausgebildet, ein Verfahren zum Steuern eines Wertes einer Spannung in einem Leiter 3, an dem zumindest eine Sekundärwindung 5A eines ersten stufbaren Transformators 7A und eine Sekundärwindung 5B eines zweiten stufbaren Transformators 7B angeschlossen sind, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung auszuführen.

[0049] Der erste Transformator 7A hat eine erste Primärwindung 9A und der zweite Transformator 7B hat eine zweite Primärwindung 9B. Weiter sind zwischen der Hochspannungsschiene 27 und der Sammelschiene 3 Schalter 37 vorgesehen, um wahlweise den ersten und/oder den zweiten Transformator 7A, 7B von der Hochspannungsschiene 27 und/oder von der Sammelschiene 43 zu trennen.

[0050] Die Vorrichtung 13 umfasst in der illustrierten Ausführungsform ferner eine Messvorrichtung 23, welche durch Teilmessvorrichtungen 23A und 23B gebildet ist, wobei die Messvorrichtung 23A mit dem ersten Spannungsregler 17A kommunikativ vorhanden ist, um einen ersten (Blind)strom I_A und eine erste Leerlaufspannung bzw. Lastspannung U_A an den Ausgängen der Sekundärwindung 5 des ersten Transformators 7A zu messen. Die Teilmessvorrichtung 23B ist mit dem zweiten Spannungsregler 17B kommunikativ verbunden und ausgebildet, den Blindstrom I_B bzw. allgemein den Strom I_B und die Ausgangsspannung U_B an dem Ausgangsanschluss der zweiten Sekundärwindung 5B des zweiten Transformators 7B zu messen und dem zweiten Spannungsregler 17B zuführen.

[0051] Zum Stufen des ersten Transformators 7A ist ein Stufenschalter 25A vorgesehen, welcher Steuersignale 26A von dem ersten Spannungsregler 17A erhält, woraufhin eine entsprechende Stufung (Abgriff an der Primärwindung 9A bzw. an der Sekundärwindung 5A des ersten Transformators 7A) durchgeführt wird. Zum Stufen des zweiten Transformators 7B ist ein weiterer Stufenschalter 25B vorgesehen, welcher Steuersignale 26B von dem zweiten Spannungsregler 17B erhält, woraufhin er eine gewünschte Stufung an dem zweiten Transformator 7B vornimmt.

[0052] Die beiden Transformatoren 7A und 7B sind parallel zueinander zwischen einer Hochspannungsschiene 27 und dem Leiter 3 (auch als Sammelschiene bezeichnet) elektrisch angeschlossen. Weisen die zwei Transformatoren 7A und 7B verschiedene Leerlaufspannungen (oder auch Spannungen unter Last) auf, so kann dies zu einem Kreisblindstrom 29 (I_{KBS}) führen, der unerwünscht ist und gemäß Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weggeregelt

wird.

[0053] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung erreichen insbesondere eine Stabilisierung der Regelung auf einen Sollspannungswert auf der Sammelschiene 3 in dem Fall, in welchem die Ausgangsspannungen der beiden Transformatoren 7A und 7B leicht unterschiedlich sind aber nahe an dem Sollspannungswert liegen.

[0054] Im Folgenden wird eine Priorisierungsbandbreite B_{CC_DV} eingeführt als $B_{CC_DV} = \text{Faktor} \cdot B$, wobei der Faktor z.B. bei 0,5 liegen kann und B eine herkömmlich benutzte Bandbreite ist. Bei den beiden Transformatoren 7A und 7B mit etwa gleicher Transformatorreaktanz und $D_V = 0$ ergibt sich bei einer Stufendifferenz genau die entgegengesetzte Kreisblindstrom-Spannungsabweichung D_{CC} und damit eine Gesamtabweichung D. Die Spannungsabweichung D_V ist dann in A nahe bei 0 und damit innerhalb der Priorisierungsbandbreite (auch als erste Bandbreite bezeichnet). Bei $D_V \leq 0$ wird das Höherstufen zeitlich priorisiert. Das heißt bei dem Regler im Transformator A (Transformator 7A), wo ein positiver Kreisblindstrom gemessen wird, wird die doppelte Verzögerungszeit angewandt (Kriterium $D > B$). Entsprechend wird bei $D_V > 0$ das Tieferstufen priorisiert.

[0055] Fig. 2 illustriert schematisch ein Balkendiagramm, wobei die Spannungsabweichung D_V , die Gesamtabweichung D_A für den ersten Transformator 7A, die Blindstromabweichung D_{CCA} für den ersten Transformator 7A, die Gesamtabweichung D_B für den zweiten Transformator 7B und die Blindstromabweichung D_{CCB} für den zweiten Transformator 7B aufgetragen sind. Die Abweichungen sind dabei relativ zu der Sollwertspannung 31 aufgetragen als Anteil aufgetragen. Wie aus Fig. 2 ersichtlich ist, liegt die Spannungsabweichung D_V innerhalb der ersten Bandbreite 33 und ist negativ. Ferner ist D_A und auch D_{CCA} außerhalb der zweiten Bandbreite 35 und insbesondere größer als B. Ferner liegen D_B und D_{CCB} außerhalb der zweiten Bandbreite 35 und sind insbesondere $> -B$.

[0056] In diesem Fall wird die erste Verzögerungszeit (die Verzögerungszeit der Regelung für den ersten Transformator 7A) vergrößert, insbesondere auf den doppelten Wert gesetzt wie der Wert der Verzögerungszeit, welcher für den zweiten Transformator 7B verwendet wird. Damit wird ein Höherstufen des zweiten Transformators 7B priorisiert. VACT illustriert die tatsächlich an der Sammelschiene gemessenen Spannung, wobei zum Spannungssollwert die Differenz D_V besteht.

[0057] Fig. 3 illustriert in einem ähnlichen Balkendiagramm wie in Fig. 2 eine Situation während eines Regelungsverfahrens, wobei andere Werte der verschiedenen Abweichungen vorliegen. Insbesondere ist die Spannungsabweichung D_V innerhalb der ersten Bandbreite 33 und gleichzeitig größer als 0 (> 0). Ferner sind auch die Gesamtabweichung und die Blindstromabweichung des ersten Transformators und des zweiten Transformators außerhalb der zweiten Bandbreite 35. In diesem Fall wird die Verzögerungszeit für die Steuerung des zweiten Transformators 7B vergrößert, insbesondere auf den doppelten Wert gesetzt verglichen mit dem Wert T1 der Verzögerungszeit, welche für den ersten Transformator 7A verwendet wird. Damit wird ein Tieferstufen des ersten Transformators 7A priorisiert.

[0058] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung können dem Anwender eine Regelstabilität sicherstellen, bei sicherer Auslegung des Kreisblindstroms oder Ausregelung des Kreisblindstroms. Der Einstellwert, der von dem Stand der Technik eingeführt wird, ist dafür nicht ausreichend und von dem Anwender schlecht zu beherrschen. Durch die geringe herkömmliche Regelgüte und damit verbundenen Kreisblindstrom ist die Verlustleistung der Transformatoren erhöht und damit der Wirkungsgrad erniedrigt.

[0059] Die durch Ausführungsformen der Erfindung erreichte Stabilität verhindert gleichzeitig unnötige Stufen und damit wird die Lebensdauer der Laststufenschalter (OLTC) erhöht. Damit können Kosten beim Netzbetreiber vermindert werden.

[0060] Die Verzögerungszeit T1 kann vom Netzbetreiber vorgegeben sein und sich auf die Ausregelung von Spannungsschwankungen im Netz beziehen. Die Verdoppelung dieser Verzögerungszeit bezieht sich auf die Ausregelung des Kreisblindstroms und hat somit keine Auswirkung auf die Koordination von Spannungsregelungen in Radialnetzen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Steuern eines Wertes einer Spannung an einem Leiter (3), an dem zumindest eine Sekundärwindung (5A) eines ersten stufbaren Transformators (7A) und eine Sekundärwindung (5B) eines zweiten stufbaren Transformators (7B) angeschlossen sind, wobei das Verfahren aufweist:

falls eine Spannungsabweichung (D_V) der Spannung an dem Leiter (3) von einem Spannungssollwert innerhalb einer ersten Bandbreite ($[-B_{CC_DV}, B_{CC_DV}]$) um den Spannungssollwert liegt, und
falls eine Gesamtabweichung (D) einer Summe aus der Spannungsabweichung (D_V) und einer Blindstromabweichung (D_{CCA}, D_{CCB}) von dem Spannungssollwert jeweils für der ersten und den zweiten Transformator außerhalb einer zweiten, größeren als der ersten, Bandbreite ($[-B, B]$) um den Spannungssollwert liegt:

Setzen einer Verzögerungszeit (T1) zum Stufen des ersten Transformators (7A) und/oder des zweiten Transformators (7B) derart, dass eine der Spannungsabweichung entgegenwirkende Stufung des ersten

oder des zweiten Transformators priorisiert wird.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei eine Verzögerungszeit (T1) desjenigen Transformators, für den die Gesamtabweichung ein anderes Vorzeichen hat als die Spannungsabweichung, größer gesetzt wird als eine andere Verzögerungszeit für den anderen Transformator.
3. Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei, falls die Gesamtabweichung D und/oder Blindstromabweichung (D_{CC}) für mindestens die größer gesetzte Verzögerungszeit außerhalb der zweiten Bandbreite ($[-B, B]$) liegt, der Transformator höher gestuft wird, falls die Gesamtabweichung negativ ist und niedriger gestuft wird, falls die Gesamtabweichung positiv ist, wobei die Stufung belassen wird, falls die Gesamtabweichung für kürzer als die größer gesetzte Verzögerungszeit außerhalb der zweiten Bandbreite liegt.
4. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei bei Höherstufung eines der Transformatoren eine höhere, bei Tieferstufung eines der Transformatoren eine niedrigere Spannung am Ausgang der Sekundärwindung (5A, 5B) des jeweiligen Transformators anliegt, wobei die Höherstufung und/oder Tieferstufung durch entsprechenden Abgriff an einer jeweiligen Primärwindung erfolgt, dessen Eingang mit einem weiteren Leiter (27) verbunden ist, an dem insbesondere eine Hochspannung zwischen 70 kV und 300 kV anliegt, wobei der Spannungssollwert insbesondere zwischen 5 kV und 20 kV liegt.
5. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die größer gesetzte Verzögerungszeit ($2 * T1$) zwischen 1,5 und 2,5-mal, insbesondere 2-mal, der anderen Verzögerungszeit (T1) ist.
6. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Gesamtabweichung für den anderen Transformator ein gleiches Vorzeichen hat wie die Spannungsabweichung.
7. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei, wenn die Spannungsabweichung negativ ist, die Verzögerungszeit für den bzw. die Spannungsregler größer gesetzt wird, die die Bandbreite überschreiten, also tiefer stufen, falls gilt:

$$DV \leq 0$$

$$-BCC_DV < DV < BCC_DV$$

$$DCC, D > B$$

wobei

die erste Bandbreite durch den Bereich $[-BCC_DV, BCC_DV]$ gegeben ist,

die zweite Bandbreite durch den Bereich $[-B, B]$ gegeben ist, DV die Spannungsabweichung ist,

DCC die Blindstromabweichung ist,

D die Gesamtabweichung ist,

wobei die größer gesetzte Verzögerungszeit insbesondere zwischen 1,5- und 2,5-mal, ferner insbesondere 2-mal, der anderen Verzögerungszeit ist.

8. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dass wenn die Spannungsabweichung positiv ist, die Verzögerungszeit für den bzw. die Spannungsregler größer gesetzt wird, die die Bandbreite unterschreiten, also höher stufen, falls gilt:

$$Dv > 0$$

$$-BCC_DV < Dv < BCC_DV$$

$$D_{CC}, D < -B.$$

9. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die erste Bandbreite ($[-B_{CC_DV}, B_{CC_DV}]$) zwischen 0,3 und 0,7-mal, insbesondere 0,5-mal, der zweiten Bandbreite $-B, B$ ist.

10. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, ferner aufweisend:

Optimieren der Berechnung der Regelabweichung D_{CC} resultierend aus dem Kreisblindstrom gemäß:

$$DCC = (k * ICC * (X + TermA) * \text{Wurzel}(3) * 100 \%) / UN,$$

wobei

$$TermA = X / (X * BP - 1),$$

k ein einstellbarer Kreisblindstromregelfaktor, ICC der Kreisblindstrom,
X die Transformatorlängsreaktanz berechnet aus Kurzschlussspannung,
BP der Gesamtblindleitwert bzw. Gesamtsuszeptanz aller parallelen Transformatoren,
UN die Transformatornennspannung
sind.

11. Vorrichtung (13) zum Steuern eines Wertes einer Spannung an einem Leiter (3), an dem zumindest eine Sekundärwindung (5A) eines ersten stufbaren Transformators (7A) und eine Sekundärwindung (5B) eines zweiten stufbaren Transformators (7B) angeschlossen sind, wobei die Vorrichtung aufweist:

eine Logikeinheit (15, 17A, 17B), die ausgebildet ist,
falls eine Spannungsabweichung (D_V) der Spannung an dem Leiter von einem Spannungssollwert innerhalb einer ersten Bandbreite ($[-B_{CC_DV}, B_{CC_DV}]$) um den Spannungssollwert liegt, und
falls eine Gesamtabweichung (D_A, D_B) einer Summe aus der Spannungsabweichung (D_V) und einer Blindstromabweichung (D_{CCA}, D_{CCB}) von dem Spannungssollwert jeweils für den ersten und den zweiten Transformator außerhalb einer zweiten, größeren als der ersten, Bandbreite ($[-B_C, B]$) um den Spannungssollwert liegt,
eine Verzögerungszeit (T1) zum Stufen des ersten Transformators (7A) und/oder des zweiten Transformators (7B) derart zu setzen, dass eine der Spannungsabweichung entgegenwirkende Stufung des ersten oder des zweiten Transformators priorisiert wird.

12. Vorrichtung gemäß dem vorangehenden Anspruch, ferner aufweisend:

eine Messvorrichtung (23A, 23B) zum Messen des Wertes der Spannung und von Werten eines Blindstroms des ersten Transformators und des zweiten Transformators.

13. Transformatorsystem (1), aufweisend:

einen ersten stufbaren Transformator (7A) und
einen parallel dazu geschalteten zweiten stufbaren Transformator (7B); und
eine Vorrichtung (13) zum Steuern eines Wertes einer Spannung gemäß Anspruch 11 oder 12.

FIG 1

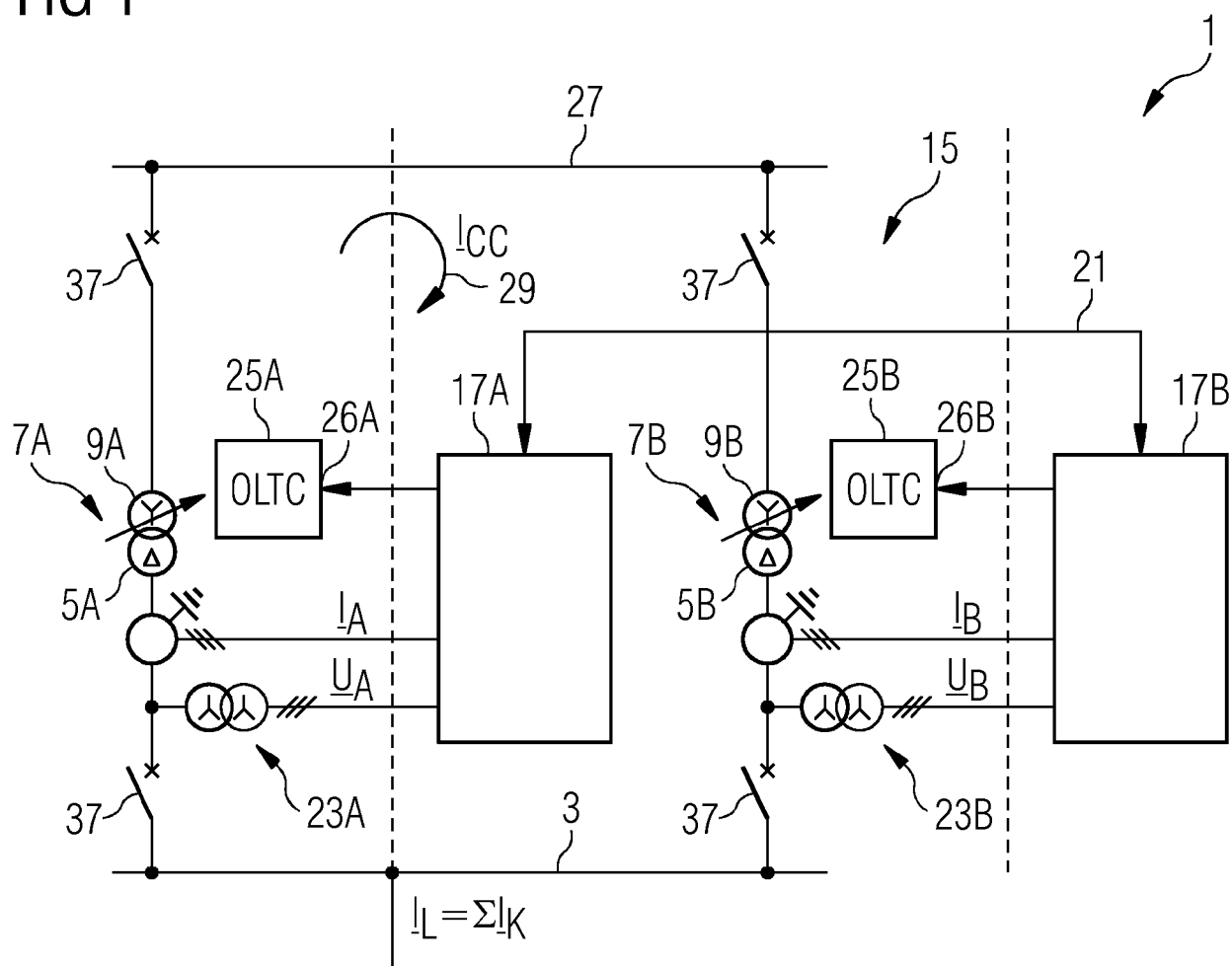


FIG 2

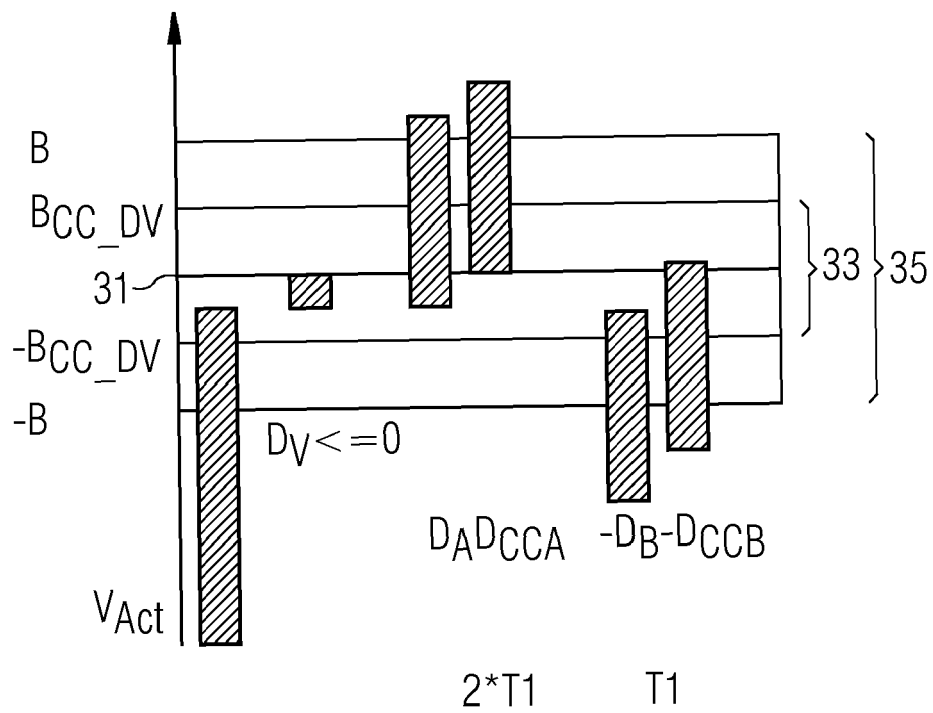
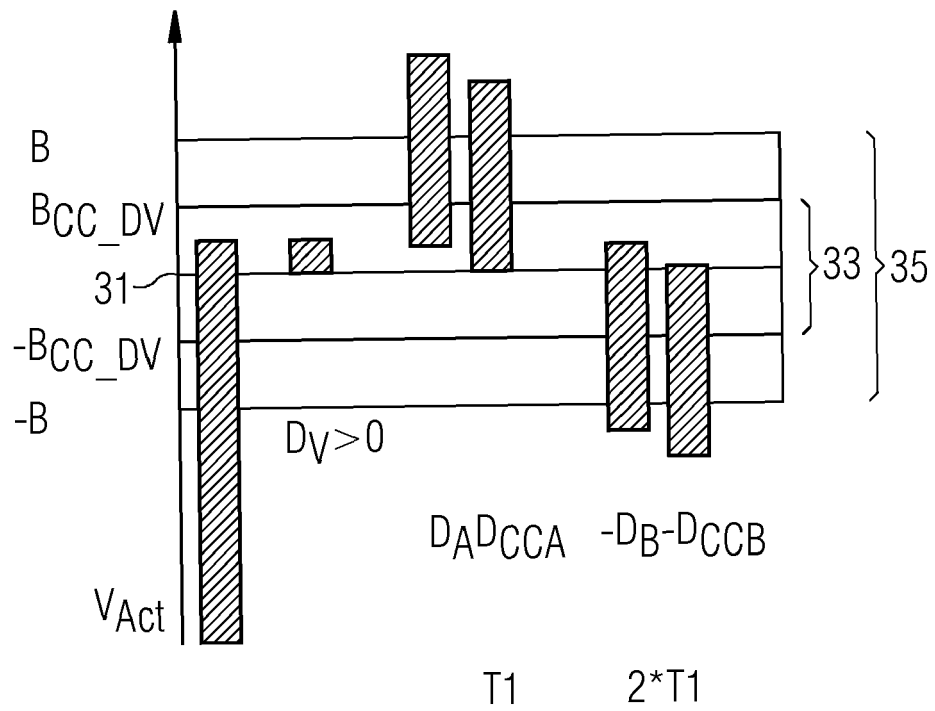


FIG 3





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
 EP 17 18 7264

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	EP 2 482 415 A1 (ALSTOM TECHNOLOGY LTD [CH]) 1. August 2012 (2012-08-01) * Absatz [0010] - Absatz [0026]; Abbildung 3a *	1-13	INV. G05F1/14
A	----- CN 205 583 707 U (ABB TECHNOLOGY LTD) 14. September 2016 (2016-09-14) * Zusammenfassung; Abbildung 1 * -----	1-13	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			G05F H02J H02P
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 21. Februar 2018	Prüfer Schobert, Daniel
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 17 18 7264

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

21-02-2018

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
	EP 2482415	A1	01-08-2012	CN 103329385 A		25-09-2013
				EP 2482415 A1		01-08-2012
15				US 2013307494 A1		21-11-2013
				WO 2012104128 A1		09-08-2012

	CN 205583707	U	14-09-2016	KEINE		

20						
25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82