



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2015 00069

(22) Data de depozit: 02/02/2015

(41) Data publicării cererii:
30/08/2016 BOPi nr. 8/2016

(71) Solicitant:
• UNIVERSITATEA DIN CRAIOVA,
STR. ALEXANDRU IOAN CUZA NR.13,
CRAIOVA, DJ, RO

(72) Inventatori:
• BITOLEANU ALEXANDRU,
STR. ÎMPĂRATUL TRAIAN NR.1, BLG,
SC.1, AP.10, CRAIOVA, DJ, RO;

• POPESCU MIHAELA, CALEA BUCUREȘTI
NR. 47, BL. 27D, AP. 8, CRAIOVA, DJ, RO;
• SURU CONSTANTIN VLAD,
STR. CASTANILOR NR. 11, BL. 9, SC. 1,
AP. 6, CARTIER CORNITOIU, CRAIOVIȚA
NOUĂ, DJ, RO

(54) SISTEM DE FILTRARE ȘI REGENERARE PENTRU
SUBSTAȚII DE TRACȚIUNE ÎN CURENT CONTINUU

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un sistem static de filtrare și regenerare, pentru substații de tracțiune de curent continuu, ce realizează, pe de o parte, filtrarea activă a armonicilor de curent și compensarea puterii reactive în rețeaua de alimentare a substației de tracțiune, și, pe de altă parte, recuperarea energiei electrice obținute în timpul frânării vehiculului, de exemplu, tren, metrou sau tramvai, prin transformarea energiei cinetice de către un echipament aflat pe vehicul. Sistemul conform invenției se conectează în paralel cu substația de tracțiune în curent continuu, între linia (4, 5) de tracțiune și linia (1) de înaltă tensiune, prin intermediul unui transformator (16) de recuperare, dacă redresorul substației de tracțiune este dodecafazat paralel sau trifazat în punte, sau direct în secundarul transformatorului (2) de tracțiune, dacă redresorul substației de tracțiune este dodecafazat serie, și cuprinde un filtru (12) activ paralel, un circuit (13) de separare unidirecțional și un bloc (18) de comandă, în care circuitul (13) unidirecțional conține două bobine (24) identice și o diodă (23), sau două bobine (24) identice, o diodă (23) și un tranzistor (25) bipolar cu bază izolată.

Revendicări: 5
Figuri: 3

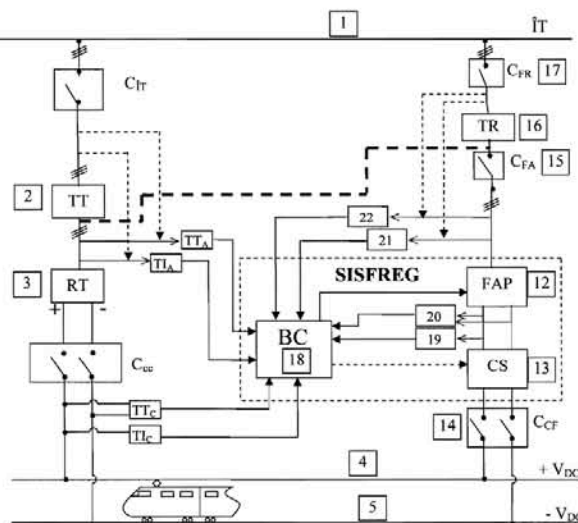


Fig. 2

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



SISTEM DE FILTRARE ȘI REGENERARE PENTRU SUBSTAȚII DE TRACȚIUNE ÎN CURENT CONTINUU

DESCRIEREA INVENȚIEI

Titlul invenției

Sistem de filtrare și regenerare pentru substații de tracțiune în curent continuu

Domeniul invenției

Invenția se referă la un sistem static de filtrare și regenerare pentru substații de tracțiune în curent continuu. Sistemul propus realizează, pe de o parte, filtrarea activă a armonicilor de curent și compensarea puterii reactive în rețeaua de alimentare a substației de tracțiune și, pe de altă parte, recuperarea energiei electrice obținută în timpul frânării vehiculului (tren, metrou sau tramvai), prin transformarea energiei cinetice de către un echipament aflat pe vehicul. Se definește structura necesară și se precizează rolul și funcționarea blocurilor componente.

Descrierea stadiului actual

Vehiculele feroviare urbane sau suburbane sunt acționate de motoare electrice. În cazul tramvaielor și a unor trenuri suburbane sau regionale, energia este, în general, furnizată de o linie aeriană prin pantograf. În cazul unui tren de metrou și a unei alte categorii de trenuri suburbane sau regionale, energia electrică este furnizată de o a treia cale de rulare. Liniile aeriene sau a treia cale se numesc linii catenare și sunt alimentate de către substațiile amplasate de-a lungul liniilor de cale ferată.

Cu referire la Fig. 1, care reprezintă schema electrică a unei substații de tracțiune în c.c., de mare putere, substațiile de tracțiune sunt alimentate de la o rețea trifazată de înaltă tensiune (1) și conțin un transformator (2) și un redresor necomandat (3). Pentru reducerea distorsiunii curentului absorbit, transformatorul poate avea două secundare, unul în stea și altul în triunghi. Fiecare secundar alimentează două redresoare trifazate în punte conectate în paralel, obținându-se astfel un redresor cu 12 pulsuri (redresor duodecafazat). La ieșirea redresorului, se obține o tensiune continuă având valorile nominale cuprinse între 750 V și 3 kV [1] - [4], care se aplică liniei de alimentare în c.c. (4). Borna pozitivă a liniei de alimentare în c.c. este conectată la linia catenară (6 și 7), iar borna negativă este conectată la șinele de rulare ale vehiculului (8 și 9).

Problema recuperării energiei cinetice aferentă procesului de frânare a trenurilor cu acționare electrică este pusă de multă vreme, iar dezvoltările recente din domeniul electronicii de putere creează noi perspective de rezolvare. Importanța ei este dată de necesitatea de eficientizare și reducere a consumului de energie electrică, dar și de ponderea energiei ce poate fi regenerată [5], [6], [7]. Motoarele electrice de acționare a trenurilor (11) pot transforma această energie cinetică în energie electrică. În prezent, numai o mică parte din energia electrică rezultată este reutilizată pentru serviciile auxiliare. Energia rămasă poate să fie trimisă înapoi la catenară și, prin urmare, recuperată, doar în cazul în care un vehicul ce accelerează (10) se află în apropiere, pe aceeași secțiune de linie. Dacă în apropiere nu este un alt tren care să absoarbă această energie, tensiunea liniei de alimentare în c.c. crește și această energie suplimentară trebuie să fie disipată în rezistențe de frânare. S-au identificat trei metode de recuperare a acestei energii: stocarea în echipamente mobile; stocarea în echipamente fixe și recuperarea în rețeaua de alimentare a substațiilor de tracțiune.

Opiniile specialiștilor sunt unanime că soluția cea mai avantajoasă este de a recupera surplusul de energie în linia de alimentare și compensarea armonicilor de curent și puterii reactive, prin materializarea conceptului de „stație activă” [1], [3]. Substațiile de tracțiune în c.c. furnizează curent numai într-o singură direcție și nu au capacitatea de a absorbi energia generată de vehiculul care frânează. O stație reversibilă are capacitatea de a permite circulația puterii active în ambele sensuri, dar are câteva limitări care vor fi evidențiate în continuare [8], [9].

Conectarea sistemului bidirecțional la același transformator pe partea de medie tensiune afectează capacitatea de realizare a funcției de filtrare a armonicilor și compensare a puterii reactive. Se știe că principiul de funcționare a unui filtru activ impune ca tensiunea pe partea de c.c. să fie mai mare decât amplitudinea tensiunii de linie de pe partea de c.a. și că performanțele sale sunt dependente de diferența dintre cele două tensiuni [10]-[12]. În regim de tracțiune, când în linia de c.c. nu se injectează energie de către vehicul, tensiunea pe partea de c.c. este mai mică decât amplitudinea tensiunii de linie și, în consecință, sistemul nu poate funcționa ca și filtru activ decât simultan cu recuperarea energiei de frânare, când tensiunea pe partea de c.c. este mai mare decât amplitudinea tensiunii de linie de pe partea de c.a.

De asemenea, calitatea curentului injectat în rețeaua de c.a. este dependentă de diferența celor două tensiuni. Obținerea unui factor de distorsiune armonică a curentului sub 5% impune ca tensiunea pe partea de c.c. să fie mai mare decât amplitudinea tensiunii de linie de pe partea de c.a., ceea ce face dificilă încadrarea în normele existente a valorilor factorului de distorsiune armonică a curentului.

Spre deosebire de stațiile reversibile, noul sistem, numit „stație activă”, folosește noua generație de componente electronice, de înaltă performanță energetică (în special tranzistoare bipolare cu poarta izolată – IGBT) și permite nu numai recuperarea energiei, dar, de asemenea, funcții complementare precum: compensarea armonicilor din rețea, prin funcționare ca filtru activ de putere; compensarea activă a puterii reactive; compensarea dinamică a fluctuațiilor tensiunii pe linia de înaltă tensiune și limitarea căderii de tensiune pe linia de alimentare [13], [14], [15].

De altfel, adoptarea de soluții performante, precum compensatoarele active de putere, este o preocupare de strictă actualitate, cu realizări diverse la nivelul structurii de putere și al sistemului de control [16]-[19].

Soluția tehnică aleasă de firma INGETEAM Traction [20], [21], de plasare a unui convertor c.c.-c.c. între linia de alimentare a vehiculului și invertorul de rețea, rezolvă problema funcționării sistemului, atât ca generator de energie în rețeaua de c.a., cât și ca filtru activ, prin utilizarea transformatorului existent în stație. Din punct de vedere tehnic și economic, la puteri foarte mari (peste 1,5 MVA), respectiv curenți de peste 2000 A, această soluție are cel puțin două aspecte cu caracter critic: fiabilitatea convertorului c.c.-c.c. și costul celor două bobine cuplate magnetic, care trebuie să faciliteze comutația la curent nul.

Prezentarea problemei tehnice

Sistemul conform prezentei invenții este un sistem care permite realizarea simultană a compensării armonicilor de curent și puterii reactive, dar și recuperarea surplusului de energie electrică rezultată, în linia de curent continuu, datorită procesului de frânare a vehiculelor, către rețeaua de alimentare a substațiilor de tracțiune în c.c. Invenția permite transformarea substațiilor de tracțiune în c.c. dotate cu redresoare necomandate, în „substații active”.

Expunerea invenției

Conform invenției, schema bloc a sistemului propus și modul de conectare a acestuia sunt date în Fig. 2.

Conform invenției, sistemul propus se conectează în paralel cu substația de tracțiune în curent continuu, între linia de tracțiune (4), (5) și linia de înaltă tensiune (1), dacă redresorul substației de tracțiune este duodecafazat paralel sau trifazat în punte (tensiunea în linia de c.c și valoarea de vârf a tensiunii de linie în secundarul transformatorului de tracțiune sunt aproximativ egale), prin intermediul contactorului de c.c. C_{CF} (14), a contactorului trifazat C_{FA} (15), a transformatorului de recuperare TR (16) și a contactorului trifazat C_{FR} (17).

Conform invenției, sistemul propus se conectează în paralel cu substația de tracțiune în curent continuu, între linia de tracțiune (4), (5) și secundarul transformatorului de tracțiune (2), dacă redresorul substației de tracțiune este duodecafazat serie (raportul dintre tensiunea în linia de c.c și valoarea de vârf a tensiunii de linie în secundarul transformatorului de tracțiune este cca. 1,9), prin intermediul contactorului de c.c. C_{CF} (14) și a contactorului trifazat C_{FA} (15).

Conform invenției, sistemul propus este compus din: filtrul activ paralel FAP (12); circuitul de separare unidirecțional CS (13), care, cu referire la Fig. 3a, conține două bobine identice (24) și o diodă (23) sau două bobine identice (24), o diodă (23) și un tranzistor bipolar cu baza izolată (25) – Fig. 3b; blocul de comandă BC (18); traductorul de curent (19) pentru curentul continuu ce se transferă de la linia de c.c (5), (6) spre filtrul activ de putere (12); traductorul de tensiune (20) pentru tensiunea pe condensatorul de compensare al filtrului activ de putere (12).

Conform invenției, pentru comanda sistemului propus mai pot fi necesare și alte mărimi, precum: curenții și tensiunile de pe partea de c.a. a filtrului activ de putere (12) care se obțin de la traductoarele (21) și (22); curenții și tensiunile de pe partea de c.a. a redresorului de tracțiune (3) care se obțin de la traductoarele TI_A și TT_A ; curentul și tensiunea de pe partea de c.c. a redresorului de tracțiune (3) care se obțin de la traductoarele TI_C și TT_C .

Un avantaj al prezentei invenții este acela că realizează compensarea armonicilor de curent și a puterii reactive din linia de alimentare a substațiilor de tracțiune în c.c. astfel încât factorul total de distorsiune armonică a curentului să se încadreze în limitele impuse, iar factorul total de putere devine, practic, unitar.

De asemenea, un mare avantaj al invenției este acela că asigură recuperarea energiei electrice suplimentare obținută în timpul frânării vehiculului și care nu este consumată de către un alt vehicul, prin injectarea în linia de alimentare a substațiilor de tracțiune în c.c. a unui curent sinusoidal în antifază cu tensiunea și care se încadrează în limitele de distorsiune impuse.

Un alt avantaj al invenției este acela că asigură și compensarea dinamică a fluctuațiilor tensiunii pe linia de înaltă tensiune și limitarea căderii de tensiune pe linia de alimentare.

Un alt avantaj al invenției este acela că, trecerea în regim de recuperare se face în mod natural, fără închiderea sau deschiderea unor contactoare.

De asemenea, un alt avantaj al invenției este acela că este o completare a substației de tracțiune în vederea transformării ei în „substație activă” și nu necesită modificări în structura existentă.

Scurtă descriere a desenelor

Semnificația figurilor care însoțesc prezenta propunere de invenție este prezentată în continuare.

Fig. 1 reprezintă schema bloc a unei substații de tracțiune în c.c. cu redresor duodecafazat paralel.

Fig. 2 reprezintă schema bloc a sistemului propus și modul de conectare a acestuia.

Fig. 3 reprezintă două variante de realizare a circuitului unidirecțional de separare.

FIȘA BIBLIOGRAFICĂ

- [1] Y. Warin, R. Lanselle, M. Thiounn, Active substation, World Congress on Railway Research, 22-26 May, 2011, Lille, France.
- [2] P.H. Henning, H.D. Fuchs, , A.D. le Roux, H.T.Mouton, A 1.5-MW Seven-Cell Series-Stacked Converter as an Active Power Filter and Regeneration Converter for a DC Traction Substation, IEEE Trans. on Power Electronics, Vol.23, Issue 5, 2008, pp. 2230 - 2236.
- [3] The "TICKET TO KYOTO" project, Overview of braking energy recovery technologies in the public transport field, March 2011, www.tickettokyoto.eu.
- [4] The ECORAILS project:, Energy efficiency and environmental criteria in the awarding of regional rail transport vehicles and services, Deliverables 6 and 8: Technological overview with regard to energy efficiency and environmental performance, www.ecorails.eu.
- [5] US8593012 B2; 26 nov. 2013.
- [6] Vitaly Gelman: Comparison Between Wayside Storage and Reversible Thyristor Controlled Rectifiers (RTCR) for Heavy Rail Applications, 2013 Joint Rail Conference, Knoxville, Tennessee, USA, April 15-18, 2013, ISBN: 978-0-7918-5530-0, pp. V001T07A001; 10 pages, doi:10.1115/JRC2013-2460.
- [7] US20120085611; 04-12- 2012.
- [8] US20140182991 A1; Jul 3, 2014: Method for optimizing the operation of a reversible traction substation and associated devices.
- [9] EP1985490 A1; 29 Oct 2008: System, substation and method for recovering brake energy from railway vehicles, railway vehicles for this system.
- [10] H. Akagi, H. Watanabe, M. Aredes, Instantaneous power theory and applications to power conditioning, Wiley-IEEE Press, 2007.
- [11] A. Bueno, J.M. Aller, J. Restrepo, T. Habetler, Harmonic and Balance Compensation using Instantaneous Active and Reactive Power Control on Electric Railway Systems, 25th Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 21-25 Feb. 2010, pp. 1139 - 1144.
- [12] G. Ramos, E. Cantor, M.A. Rios, L.F. Roa, Instantaneous p-q theory for harmonic compensation with active power filter in DC traction systems, International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives (POWERENG), 2011, pp. 1-5.
- [13] US 8907255; 12/09/2014 : Method for deicing a power supply line for railway vehicles. OK la categoria preocupare actuala
- [14] Toshihiko Tanaka, Norio Ishikura, Eiji Hiraki: A Constant DC Voltage Control Based Compensation Method of an Active Power Quality Compensator for Electrified Railways, IEEJ Trans 2009; 4: 435-441. OK la categoria filtrare activa
- [15] Wada Hosny, Han-Eol Park, Joong-Ho Song: Investigation of Shunt Active Power Filters in Railway Systems, Substation Installation, Journal of Energy and Power Engineering 7 (2013) 1974-1979.
- [16] Z. Shu, S. Xie, Q. Li, Single-phase Back-to-back Converter For Active power Balancing, Reactive Power Compensation, and Harmonic Filtering In Traction Power System, IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 26, No. 2, February 2011, pp. 334-343..

- [17] K.-W. Lao, N. Dai, W.-G. Liu, M.-C. Wong, Hybrid Power Quality Compensator With Minimum DC Operation Voltage Design for High-Speed Traction Power Systems IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 28 , Issue 4, 2013, pp. 2024 – 2036.
- [18] B. Bahrani, A. Rufer, Optimization-Based Voltage Support in Traction Networks Using Active Line-Side Converters, IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 28 , Issue 2,; 2013 , pp. 673 – 685.
- [19] K. Shishime, Practical Applications of the Railway Static Power Conditioner (RPC) for Conventional Railways, MEIDEN Review, No. 156, 2012, pp. 38-41.
- [20] J.M. Ortega, H. Ibaiondo, A. Romo, Kinetic Energy Recovery on Railway Systems with Feedback to The Grid, World Congress on Railway Research, 22-26 May, 2011, Lille, France.
- [21] J.M. Ortega, Ingeber System for Kinetic Energy Recovery & Metro Bilbao Experience, Rail Technological Forum for Internationalization, June 2011, Madrid.

REVENDICĂRI

1. Sistem de filtrare și regenerare pentru substații de tracțiune în curent continuu **caracterizat prin aceea că** se conectează în paralel cu substația de tracțiune în curent continuu, între linia de tracțiune (4), (5) și linia de înaltă tensiune (1), dacă redresorul substației de tracțiune este duodecafazat paralel sau trifazat în punte, prin intermediul unui transformator de recuperare TR (16).
2. Sistem de filtrare și regenerare pentru substații de tracțiune în curent continuu **caracterizat prin aceea că** se conectează în paralel cu substația de tracțiune în curent continuu, între linia de tracțiune (4), (5) și secundarul transformatorului de tracțiune (2), dacă redresorul substației de tracțiune este duodecafazat serie.
3. Sistem, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** este compus dintr-un filtru activ paralel FAP (12), un bloc de comandă BC (18) și un circuit de separare unidirecțional CS (13) care conține două bobine identice (24) și o diodă (23) sau două bobine identice (24), o diodă (23) și un tranzistor bipolar cu baza izolată (25).
4. Sistem, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** asigură, pe de o parte, încadrarea în limitele impuse a factorul total de distorsiune armonică a curentului în linia de alimentare a substației de tracțiune, iar, pe de altă parte, un factor total de putere unitar.
5. Sistem, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** asigură recuperarea energiei electrice suplimentare obținută în timpul frânării vehiculului și care nu este consumată de către un alt vehicul, prin injectarea în linia de alimentare a substațiilor de tracțiune în c.c. a unui curent sinusoidal în antifază cu tensiunea și care se încadrează în limitele de distorsiune impuse, iar trecerea în regim de recuperare se face în mod natural, fără închiderea sau deschiderea unor contactoare.

DESENELE EXPLICATIVE

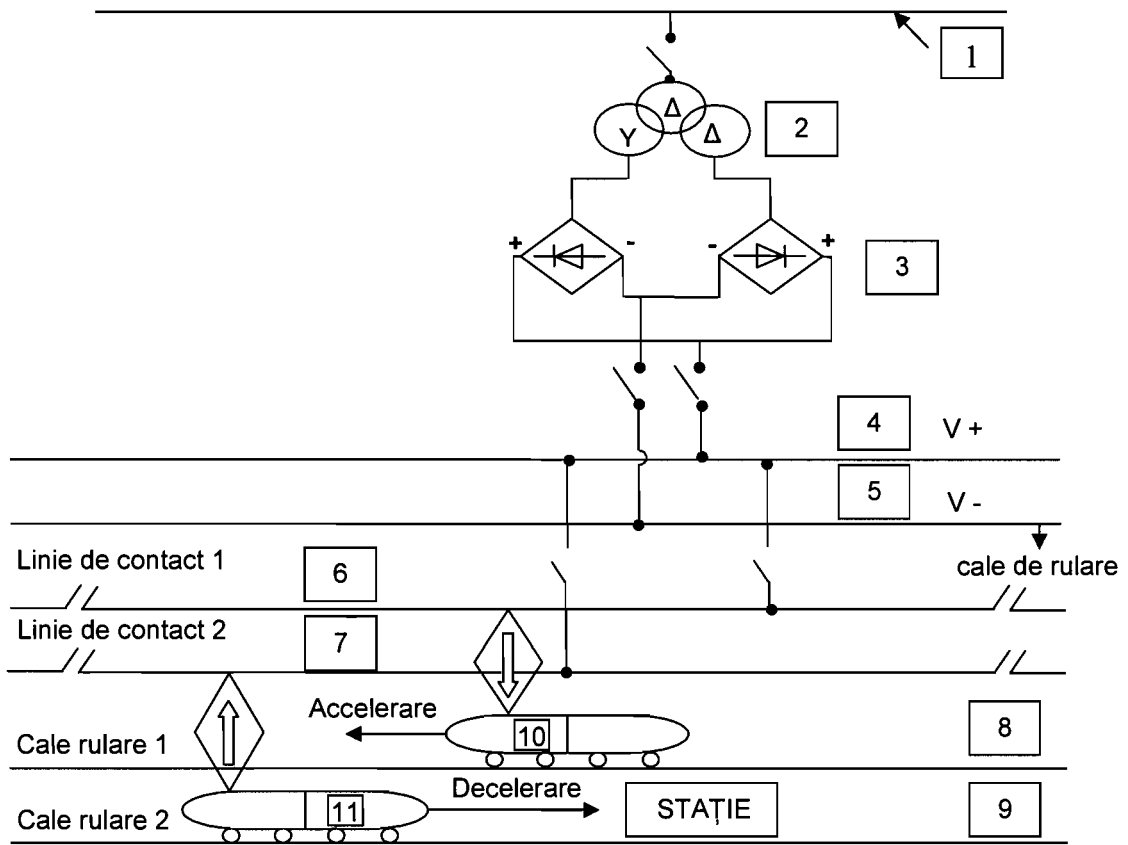


Fig. 1

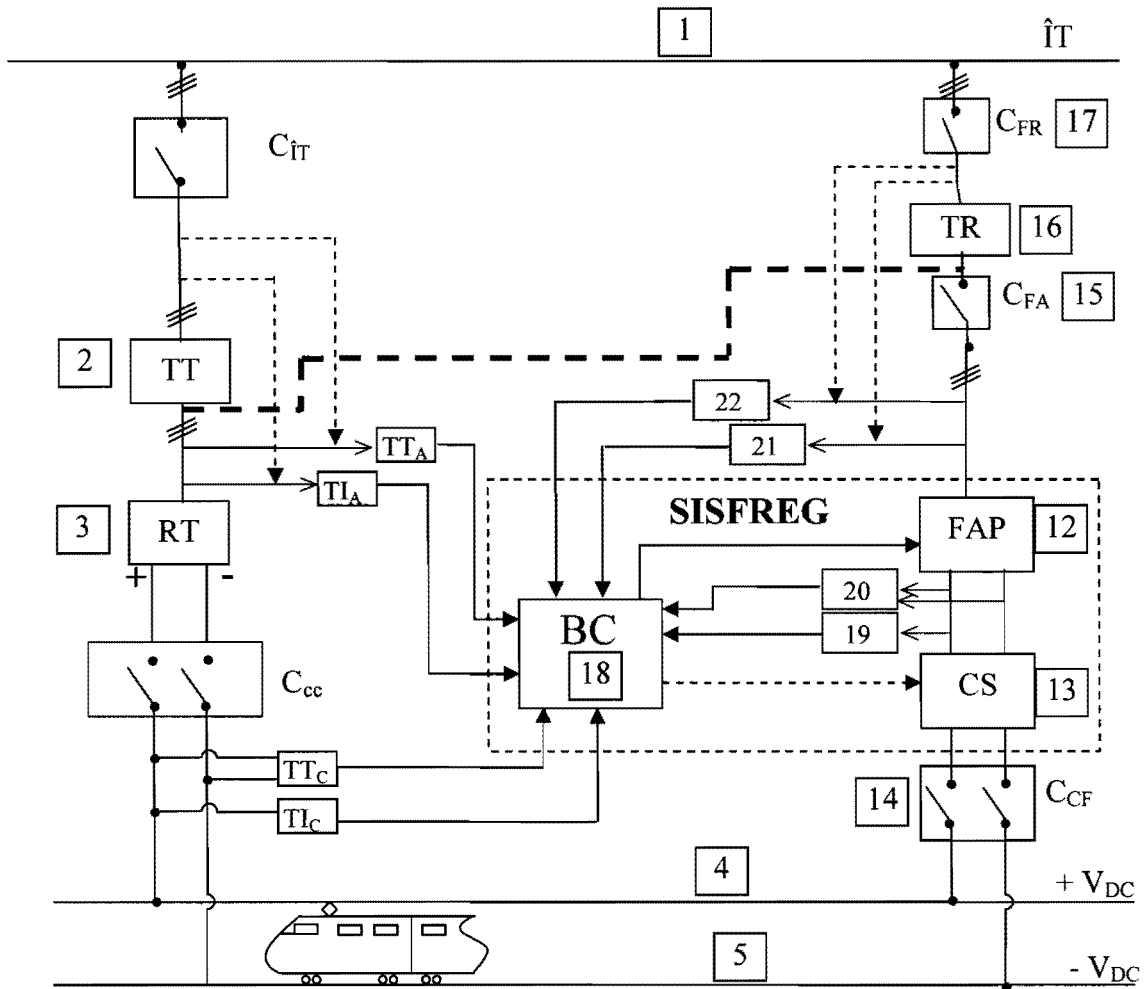
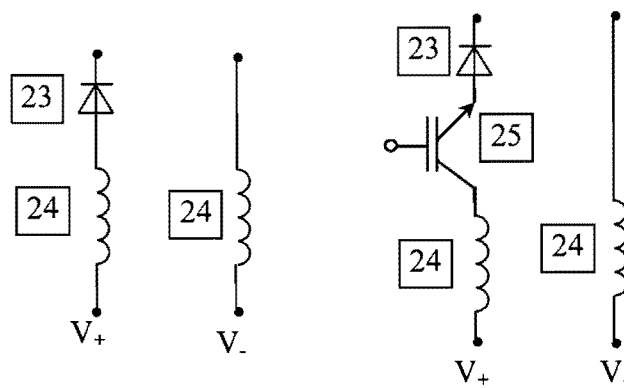


Fig. 2



a)

b)

Fig. 3