



(12)

## CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2022 00760**

(22) Data de depozit: **23/11/2022**

(41) Data publicării cererii:  
**30/05/2024** BOPI nr. **5/2024**

(71) Solicitant:  
• INSTITUTUL NAȚIONAL DE  
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU  
FIZICA LASERILOR, PLASMEI ȘI  
RADIĂȚIEI - INFLPR, STR. ATOMIȘTILOR  
NR. 409, MĂGURELE, IF, RO

(72) Inventatori:  
• STOICAN OVIDIU-SORIN,  
STR.CIOCĂRLIEI, NR.1BIS, BL.1, ET.2,  
AP.17, BRAGADIRU, IF, RO

## (54) SURSĂ DE TENSIUNE ELECTRICĂ ALTERNATIVĂ PENTRU CAPCANE ELECTRODINAMICE

### (57) Rezumat:

Invenția se referă la o sursă de tensiune electrică alternativă pentru capcane electrodinamice care generează pulsuri de înaltă tensiune, de ordinul kilovoltilor. Sursa conform invenției cuprinde:

-două generatoare (1 și 2) de pulsuri electrice de înaltă tensiune, unul dintre generatoare (1) producând pulsuri electrice pozitive, iar celălalt generator (2) producând pulsuri electrice negative, în care pulsurile electrice produse de cele două generatoare (1 și 2) au aceeași frecvență, sunt în opoziție de fază, sunt egale ca amplitudine și durată,

-un circuit (3) de sumare care compune pulsurile produse de cele două generatoare (1 și 2) și care este realizat astfel încât, ca urmare a acestei compuneri, la ieșirea sa să rezulte pulsuri electrice de înaltă tensiune, bialternante, simetrice, cu durata alternanței pozitive egală cu durata alternanței negative și cu amplitudinea alternanței pozitive egală cu amplitudinea alternanței negative, și

-un circuit (5) de comandă care furnizează semnale de comandă celor două generatoare (1 și 2) astfel încât acestea să producă pulsuri electrice de tensiune de polaritate opusă, în opoziție de fază, egale ca amplitudine și durată și a căror frecvență și amplitudine să poată fi ajustate de un utilizator prin intermediul unor elemente de control.

Revendicări: 2

Figuri: 4

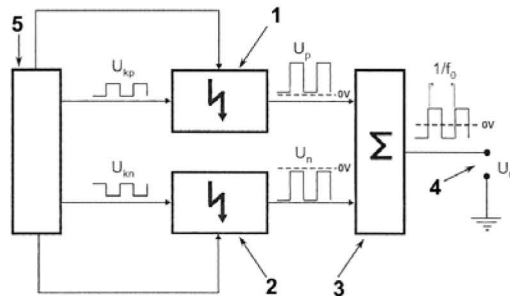


Fig. 1

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).



OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI
Cerere de brevet de invenție
Nr. a 2022 00760
Data depozit 23-11-2022

**DESCRIEREA INVENȚIEI:****SURSĂ DE TENSIUNE ELECTRICĂ ALTERNATIVĂ PENTRU CAPCANE  
ELECTRODINAMICE**

Invenția se referă la un sistem constând dintr-un ansamblu de circuite electrice care generează la bornele sale de ieșire un șir de pulsuri electrice dreptunghiulare, cu amplitudinea de ordinul kilovoților, bialternanță, simetrice, durata alternanței pozitive fiind egală cu durata alternanței negative, amplitudinea alternanței pozitive fiind egală cu amplitudinea alternanței negative. Sistemul la care face referire invenția, denumit în continuare *Sursă de tensiune electrică alternativă pentru capcane electrodinamice*, este destinat polarizării electrice a electrozilor unei capcane electrodinamice. Capcana electrodinamică reprezintă un sistem de electrozi, având configurații și geometrii specifice, conectați la o sursă de tensiune electrică alternativă, astfel încât în spațiul dintre aceștia, datorită structurii particulare a câmpului electric generat astfel, pot fi menținute în stare de suspensie, în condiții standard de presiune și temperatură, particule cu dimensiuni de ordinul micrometrilor, denumite în continuare *microparticule*, pentru un interval nedefinit de timp. În cazul unor capcane electrodinamice în care electrozii au anumite geometrii, pentru menținerea microparticulelor în stare de suspensie, în condiții stabile, unii electrozi sunt conectați suplimentar la surse de tensiune electrică continuă.

În documentul RO 133067 B1 sunt descrise capcane electrodinamice care necesită o singură sursă de tensiune electrică alternativă. În documentele RO 110371 C1, RO 111401 B1, RO 129406 B1, RO 132951 B1 sunt descrise capcane electrodinamice care utilizează o sursă de tensiune electrică alternativă combinată cu una sau două surse de tensiune electrică continuă.

Tensiunea electrică alternativă aplicată electrozilor capcanei electrodinamice trebuie să satisfacă următoarele cerințe:

- să fie bipolară;
- tensiunea medie pe o perioadă să fie nulă (să nu prezinte componentă continuă);
- tensiunea efectivă să fie de ordinul kV, cu posibilitate de variație în anumite limite;
- frecvența tensiunii de ordinul zecilor și sutelor de Hz, cu posibilitate de variație în anumite limite.

Cerințele privind ordinul de mărime al amplitudinii și frecvenței tensiunii electrice alternative sunt rezultatul rezolvării ecuațiilor de mișcare care descriu mișcarea microparticulelor în interiorul capcanei electrodinamice, corespunzătoare masei și sarcinii electrice ale acestora. În scopul găsirii unor valori optime în ceea ce privește vizibilitatea și numărului de microparticule aflate în stare de suspensie, este necesar ca amplitudinea și frecvența tensiunii

electrice alternative sa poată fi modificate. Prin urmare sursa de tensiune electrică alternativă destinată capcanelor electrodinamice trebuie să îndeplinească cerințele menționate.

În prezent tensiunea electrică alternativă necesară capcanelor electrodinamice se obține folosind unul sau mai multe transformatoare ridicătoare de tensiune conectate în cascadă, excitate cu ajutorul unui amplificator de putere de joasă frecvență. Capcane electrodinamice ai căror electrozi sunt alimentați în acest mod sunt descrise, de exemplu în O. S. Stoican, B. Mihalcea, V. Gheorghe, *Miniaturized microparticle trapping setup with variable frequency*, Romanian Reports in Physics, vol. 53, No 3-8, p. 275 (2001), V. N. Gheorghe, et. al, *Ordered structures in a variable length a.c. trap*, Acta Physica Polonica A, vol. 93, no. 4, p. 625(1998) sau documentul RO 110371 C1.

Această soluție tehnică are dezavantajul că este dificil de utilizat în cazul frecvențelor joase, de exemplu pentru frecvențe mai mici de 50Hz, sau imposibil pentru frecvențe mai mici de 10-15 Hz. Chiar și la frecvențe mai mari, de ordinul zecilor de Hz, transformatoarele folosite necesită miezuri feromagnetice de dimensiuni mari având un număr ridicat de spire, sursa de alimentare astfel realizată fiind grea și voluminoasă. De asemenea răspunsul în frecvență nu este uniform, odată cu variația frecvenței de lucru are loc și variația amplitudinii tensiunii de ieșire fiind necesară deci o operație suplimentară de corecție a acesteia.

O altă posibilă soluție tehnică constă în utilizarea unui condensator de "axare" conectat în serie cu un generator de pulsuri de înaltă tensiune. În anumite cazuri, cum sunt cele prezentate în documentul RO 133067 B1, datorită geometriei specifice a electrozilor, alcătuiți din conductoare electrice de formă elicoidală, circuitul electric echivalent al capcanei electrodinamice are caracter atât inductiv (datorită geometriei capcanei), dar și capacitiv. Împreună cu condensatorul de axare, impedanța capcanei determină distorsionarea pulsurilor de înaltă tensiune (aparitia de supra-creșteri, oscilații amortizate) cu impact direct asupra capacității de stocare a microparticulelor între electrozii capcanei electrodinamice.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în realizarea unui sistem care să genereze pulsuri electrice de tensiune cu amplitudinea de ordinul kilovolților, bipolare, simetrice, cu frecvența oricât de joasă, folosite, fără a se limita la aceasta, pentru polarizarea electrozilor capcanelor electrodinamice. Sursa de tensiune electrică alternativă pentru capcane electrodinamice, realizată conform invenției, constă dintr-un circuit de sumare care compune un șir de pulsuri electrice de înaltă tensiune cu polaritate pozitivă cu un alt șir de pulsuri electrice de înaltă tensiune cu polaritate negativă, de aceeași frecvență, cele două șiruri de pulsuri fiind în opoziție de fază unul cu celălalt, rezultând un șir de pulsuri electrice de înaltă tensiune, în care pulsurile cu polaritate pozitivă alternează cu pulsurile de polaritate negativă.

Sursă de tensiune electrică alternativă pentru capcane electrodinamice, realizată conform invenției înlătură dezavantajele soluțiilor existente, prezentând următoarele avantaje:

- funcționează la frecvențe oricât de joase;
- sunt caracterizate de un răspuns în frecvență uniform;
- nu necesită transformatoare ridicătoare de tensiune voluminoase și grele;
- nu necesită componente active care să funcționeze la tensiune înaltă;
- pot fi realizate într-o formă compactă și miniaturizată.

Se prezintă, în continuare, un exemplu de realizare a invenției, în legătură cu fig. 1, 2, 3 și 4, care reprezintă:

- fig. 1, schema bloc a sursei de tensiune electrică alternativă pentru capcane electrodinamice, realizată conform invenției;
- fig. 2, conectarea electrică a sursei de tensiune electrică alternativă la o capcană electrodinamică realizată în geometrie planară;
- fig. 3, schema electrică echivalentă a circuitului de sumare;
- fig. 4, forma de undă a tensiunilor existente la ieșirea generatorului de pulsuri electrice pozitive, a generatorului de pulsuri electrice negative și a circuitului de sumare.

Este descris în continuare un exemplu de realizare a sursei de tensiune electrică alternativă pentru capcane electrodinamice, conform invenției. În fig. 1 este prezentată schema bloc a sursei la care face referire invenția. Aceasta are în compunere generatorul de pulsuri electrice pozitive de înaltă tensiune **1** care furnizează la ieșirea sa pulsuri electrice având forma de undă dreptunghiulară, cu polaritate pozitivă, factor de umplere 50%, cu amplitudinea  $U_p$  reglabilă, și generatorul de pulsuri electrice negative de înaltă tensiune **2** care furnizează la ieșirea sa pulsuri electrice având forma de undă dreptunghiulară, cu polaritate negativă, factor de umplere 50%, cu amplitudinea  $U_n$  reglabilă. Pulsurile electrice pozitive de înaltă tensiune cu amplitudinea  $U_p$  furnizate de generatorul de pulsuri **1** și pulsurile electrice negative de înaltă tensiune cu amplitudinea  $U_n$  furnizate de generatorul de pulsuri **2** sunt aplicate la intrarea circuitului de sumare **3** la a cărei ieșire **4** se obțin pulsuri electrice de înaltă tensiune, bipolare, simetrice, cu frecvența  $f_0$  reglabilă de către utilizator, și amplitudinea  $U_0=U_p/2=U_n/2$ , de asemenea reglabilă de către utilizator. Șirul de pulsuri bipolare cu amplitudinea  $U_0$  și frecvența  $f_0$ , existente la ieșirea **4** reprezintă tensiunea de ieșire a sursei de tensiune electrică la care face referire invenția.

Amplitudinile  $U_p$  și  $U_n$ , ale pulsurilor electrice și fazele acestora sunt ajustate automat de către circuitul de comandă **5** astfel încât să fie îndeplinită întotdeauna condiția  $U_p=U_n$ , frecvența pulsurilor electrice furnizate de către cele două generatoare **1** și **2** să fie egală cu o

anumită valoare  $f_0$  impusă de către utilizator, iar pulsurile electrice furnizate de generatoarele 1 și 2 să fie în opoziție de fază. Generatorul 1 este comandat prin intermediul unei tensiuni  $U_{kp}$  având forma de undă dreptunghiulară, compatibilă TTL, astfel încât atunci când tensiunea  $U_{kp}$  se află în starea corespunzătoare nivelului logic 1, tensiunea la ieșirea generatorului 1 are valoarea  $U_p$ , iar când tensiunea  $U_{kp}$  se află în starea corespunzătoare nivelului logic 0, tensiunea la ieșirea generatorului 1 are valoarea 0. Generatorul 2 este comandat prin intermediul unei tensiuni  $U_{kn}$  având forma de undă dreptunghiulară, compatibilă TTL, astfel încât atunci când tensiunea  $U_{kn}$  se află în starea corespunzătoare nivelului logic 1, tensiunea la ieșirea generatorului 2 are valoarea  $-|U_n|$ , iar când tensiunea  $U_{kn}$  se află în starea corespunzătoare nivelului logic 0, tensiunea la ieșirea generatorului 2 are valoarea 0. Tensiunile de comandă  $U_{kp}$  și  $U_{kn}$  sunt în opoziție de fază, prezintă factorul de umplere 50% iar frecvența acestora este egală cu frecvența  $f_0$  necesară pentru tensiunea alternativă de ieșire. Ca urmare, când valoarea tensiunii electrice la ieșirea generatorului 1 este  $U_p$ , tensiunea electrică la ieșirea generatorului 2 este 0. Reciproc, când valoarea tensiunii electrice la ieșirea generatorului 2 este  $-|U_n|$ , tensiunea electrică la ieșirea generatorului 1 are valoarea 0. Tensiunile  $U_{kp}$  și  $U_{kn}$  având forma de undă, frecvența, factorul de undă și faza necesară sunt generate de circuitul de comandă 5. Circuitul de comandă 5 este controlat de către utilizator, direct, prin intermediul unor elemente de tip potențiomtru rotativ și comutator, sau prin intermediul portului serial al unui calculator. Prin intermediul acestora, utilizatorul are posibilitatea să ajusteze frecvența  $f_0$  și amplitudinea  $U_0$  a tensiunii de ieșire a sursei de tensiune electrică alternativă pentru capcana electrodinamică. Circuitul de comandă 5 poate fi realizat prin configurarea corespunzătoare a unui modul bazat pe o arie FPGA sau microcontroler.

În fig. 2 este prezentat modul de conectare electrozilor 6 și 7 ai unei capcane electrodinamice realizate în geometrie planară conform cu descrierea din documentul RO 133067 B1, la ieșirea 4 a circuitului de sumare 3.

În fig. 3 este prezentată schema echivalentă a circuitului de sumare 3, unde  $R_p$  reprezintă rezistența internă a generatorului 1,  $R_n$  rezistența internă a generatorului 2 iar  $R_0$  rezistența de sarcină (rezistența echivalentă a electrozilor capcanei electrodinamice). Circuitul de sumare este realizat astfel încât  $R_p \approx R_n \ll R_0$ .

Amplitudinea alternanței pozitive a tensiunii de ieșire  $U_{0p}$  se scrie:

$$U_{0p} = \frac{U_p R_n}{R_p + R_n}$$

Amplitudinea alternanței negative a tensiunii de ieșire  $|U_{0n}|$  se scrie:

$$|U_{0n}| = \frac{|U_n|R_p}{R_p + R_n}$$

S-a ținut seama că  $R_0 \gg R_p, R_n$ , fiind neglijat efectul în circuit al rezistenței  $R_0$ . Punând condiția  $|U_{0n}| = U_{0p} = U_0$  și  $R_p = R_n$  rezultă  $U_p = |U_n|$ , condiție care trebuie îndeplinită pentru ca ambele alternanțe ale tensiunii electrice de ieșire să prezinte amplitudini egale, caz în care  $U_0 = U_p/2 = |U_n|/2$ . S-a ținut seama că tensiunile furnizate de către generatorul de pulsuri **1** și generatorul de pulsuri **2** sunt în opoziție de fază.

În fig. 4 sunt prezentate formele de undă ale tensiunilor electrice de la ieșirea generatoarelor **1**, **2** și a circuitului de sumare **3**, rezultate din simularea, pe baza schemei echivalente prezentate în fig. 3, a funcționării sursei de tensiune electrică alternativă pentru capcana electrodinamică. S-a considerat  $U_p = 8\text{kV}$ ,  $-|U_n| = -8\text{kV}$ ,  $R_p = R_n = 47\text{M}\Omega$ ,  $R_0 = 470\text{M}\Omega$ ,  $f_0 = 50\text{Hz}$ .

La ieșire rezultă un șir de pulsuri electrice bialternanță, simetrice cu amplitudinea

$$U_0 = |U_n|/2 = U_p/2 = 4\text{kV} \text{ și frecvența } f_0 = 50\text{Hz}.$$

Ca exemplu de aplicare s-a realizat un model demonstrativ al sursei de tensiune electrică alternativă la care face referire invenția în care generatoarele **1** și **2** sunt două surse de înaltă tensiune funcționând în regim de comutație, frecvența de lucru  $f_s = 20\text{kHz}$ , echipate cu tranzistoare MOSFET a căror funcționare este întreruptă periodic cu frecvența  $f_0$  reglabilă în domeniul 10-50Hz, în contratimp unul cu celălalt. Amplitudinea pulsurilor pozitive sau negative furnizate de cele două surse  $U_p \cong |U_n| = 5-8\text{ kV}$  depinzând de tensiunea de alimentare. La ieșire rezultă un șir de pulsuri bialternanță cu amplitudinea  $U_0 = 2.5-4\text{ kV}$ . Circuitul de sumare **3** este identic cu cel din fig. 3, cu  $R_p \cong R_n \cong 47\text{M}\Omega$  iar  $R_0 \rightarrow \infty$ , electrozii capcanei electrodinamice formând practic un circuit deschis. Circuitul de comandă **5** este realizat pe baza modului programabil Cypress CY8CKIT-049-4200, configurat corespunzător.

## REVENDICĂRI

1. Sursă de tensiune electrică alternativă pentru capcane electrodinamice care generează pulsuri de înaltă tensiune, de ordinul kilovolților, **caracterizată prin aceea** că este format din două generatoare de pulsuri electrice de înaltă tensiune (1) și (2), generatorul de pulsuri (1) producând pulsuri electrice pozitive, generatorul de pulsuri (2) producând pulsuri electrice negative, pulsurile electrice produse de către generatoarele (1) și (2) au aceeași frecvență, sunt în opoziție de fază, sunt egale ca amplitudine și egale ca durată, și mai conține un circuit de sumare (3) care compune pulsurile electrice produse de generatorul (1) și pulsurile electrice produse de generatorul (2), circuitului de sumare (3) fiind realizat astfel încât, ca urmare a acestei compuneri, la ieșirea sa să rezulte pulsuri electrice de înaltă tensiune, bialternanță, simetrice, durata alternanței pozitive fiind egală cu durata alternanței negative, amplitudinea alternanței pozitive fiind egală cu amplitudinea alternanței negative.

2. Sursă de tensiune electrică alternativă conform revendicării 1 **caracterizată prin aceea** că are în compunerea sa un circuit de comandă (5), care furnizează semnalele de comandă necesare pentru generatoarele (1) și (2), astfel încât acestea să producă pulsuri electrice de tensiune de polaritate opusă, în opoziție de fază, egale ca amplitudine și egale ca durată, și a căror frecvență și amplitudine să poată fi ajustată de către utilizator prin intermediul unor elemente de control.

DESENE EXPLICATIVE

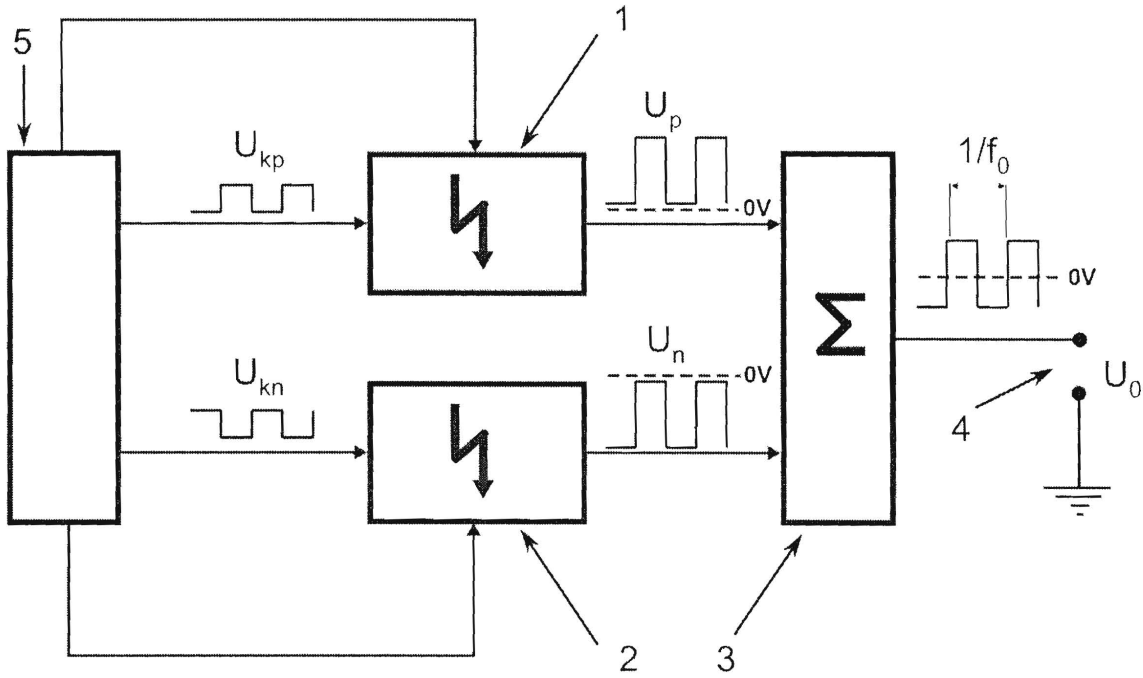


Fig. 1



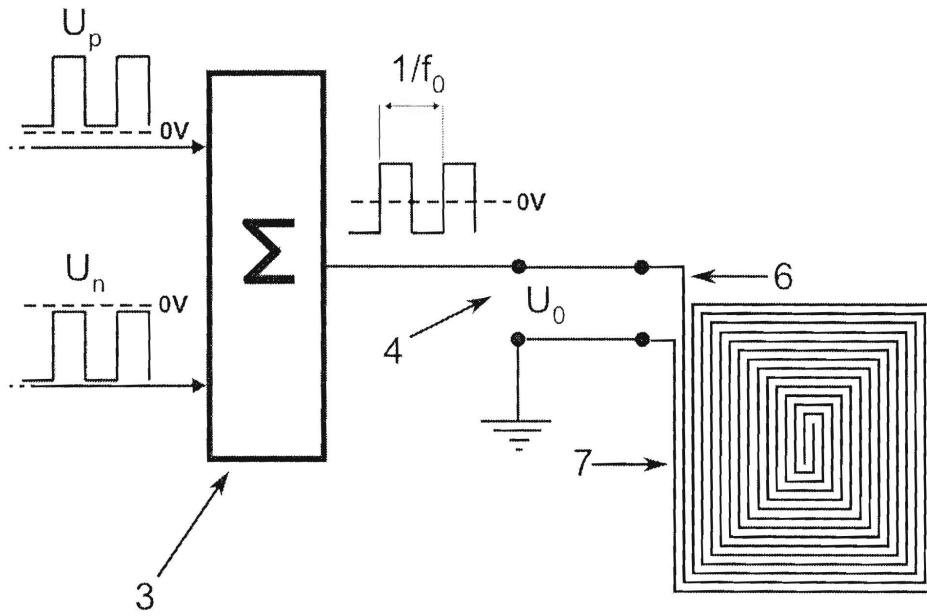


Fig. 2

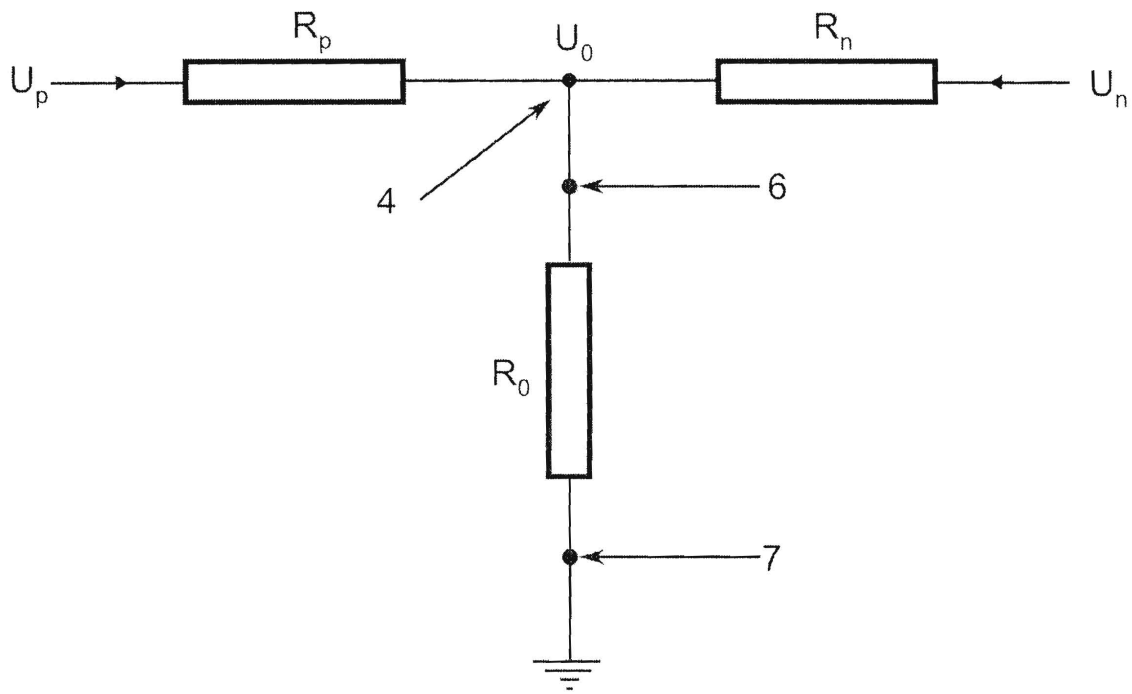


Fig. 3

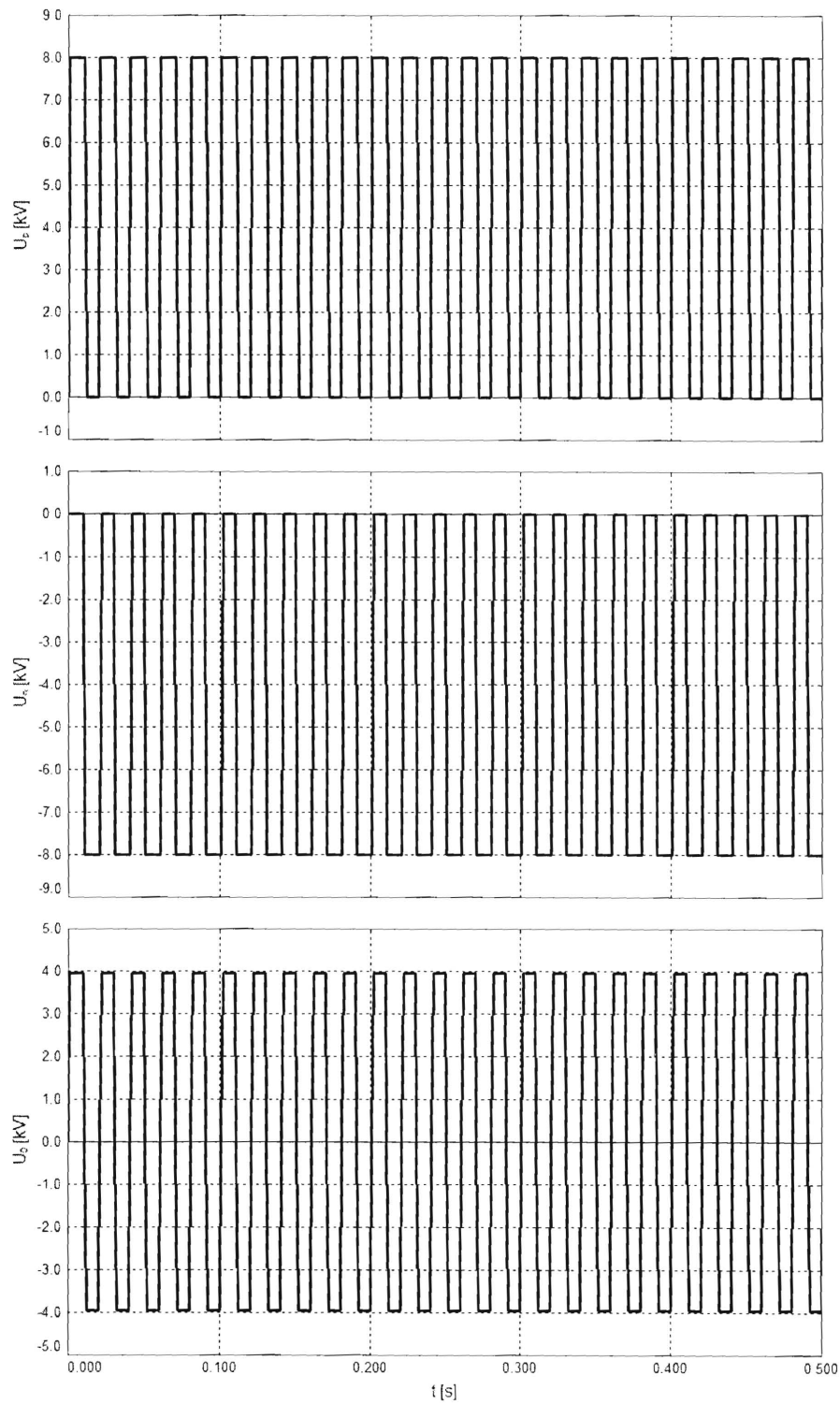


Fig.4