

(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2021 00308

(22) Data de depozit: 02/06/2021

(41) Data publicării cererii:  
30/12/2022 BOPI nr. 12/2022

(71) Solicitant:  
• RENAULT TECHNOLOGIE ROUMANIE  
S.R.L., STR.PRECIZIEI, NR.3G, SECTOR 6,  
062202, BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:  
• CONSTANTINESCU RADU, STR.CĂLUȘEI  
NR. 65, ET. 2, AP. 5, SECTOR 2,  
BUCUREȘTI, B, RO

(74) Mandatar:  
ROMINVENT S.A.,  
STR. ERMIL PANGRATTI NR.35,  
SECTOR 1, 011882, BUCUREȘTI

(54) METODĂ ȘI CIRCUIT DE DETECȚIE A CURENTULUI  
PENTRU PROTECȚIA UNUI MODUL DE PUTERE

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă și la un circuit de detecție a curentului pentru protecția unui modul de putere, folosite la măsurarea curentului principal care trece printr-un modul de comutație de putere și la transformarea măsurătorii rezultate într-un semnal capabil să declanșeze protecția modulului de putere în caz de supracurent sau scurtcircuit. Metoda conform invenției constă în: măsurarea tensiunii între emitorul de comandă (E1) și emitorul de putere (Ep) având un punct de măsură (E1K) aflat în contact cu emitorul de putere (Ep), tensiune care este proporțională cu variația curentului emitorului cu semn schimbat; integrarea analogică a tensiunii la bornele inductanței (Lp) folosind un circuit integrator (R1C1), urmată de schimbarea semnului folosind un amplificator operațional (U1), obținându-se o tensiune care este proporțională cu valoarea curentului emitorului de putere (Ep), o fracțiune din această tensiune fiind aplicată apoi unei intrări de protecție (OC) la supracurent a unui modul de comandă (DRV); atenuarea oscilațiilor de comutație de înaltă frecvență cu ajutorul unui circuit integrator (R1C1) pentru a evita o falsă declanșare a protecției; selectarea constantei de timp care trebuie să fie de cel puțin trei ori mai mică decât durata minimă a intervalului în care tranzistorul de putere (T1) este blocat; descărcarea sarcinii de pe un condensator (C1) prin intermediul unui

rezistor (R1) în serie cu rezistența neglijabilă a inductanței (Lp) parazite a senzorului. Circuitul conform invenției este construit, într-o primă variantă de realizare, pe baza unui amplificator operațional (U1) de mare putere, iar într-o a doua variantă de realizare, cu ajutorul unui tranzistor PNP (Q1) și a unui tranzistor NPN (Q2).

Revendicări: 7  
Figuri: 11

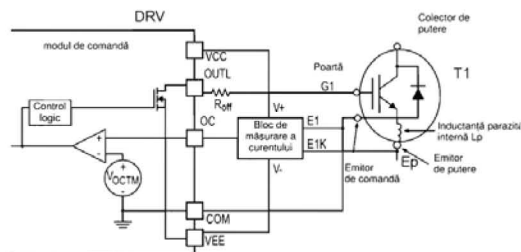


Fig. 1

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).



## Metodă și circuit de detecție a curentului pentru protecția unui modul de putere

Invenția se referă la o metodă și la un circuit de detecție a curentului pentru protecția unui modul de putere folosite la măsurarea curentului principal care trece printr-un modul de comutație de putere și la transformarea măsurătorii rezultate într-un semnal capabil să declanșeze protecția modulului de putere în caz de supracurent sau scurtcircuit.

În cazul unui tranzistor de putere, se cunoaște că protecția este realizată de circuitul de comandă care controlează poarta tranzistorului (MOSFET, IGBT etc.). Protecția este declanșată atunci când valoarea tensiunii, aplicată unei intrări dedicate a modulului de comandă (driver), depășește un nivel de prag.

O metodă cunoscută de protecție a modulelor de putere se bazează pe fenomenul de desaturare, proprietate a tranzistorului de putere (IGBT, MOSFET, SiC etc.) de a ieși din starea de saturație în cazul unei valori ridicate a curentului de drenă. Tensiunea drenă-sursă crește de la o valoare mică (sub 2V) până la valoare mai mare decât pragul de protecție. Valorile curente ale pragului de curent pentru modulele de comandă actuale sunt între 7V până la 10V. Fenomenul apare doar la valori foarte mari ale curentului de drenă, astfel încât această protecție funcționează doar pentru scurtcircuit. Problema este că în timpul fenomenului de desaturație, puterea generată este foarte mare (ca produs al curentului de scurtcircuit și tensiunii de desaturație). Ca rezultat, chiar dacă tranzistorul supraviețuiește, unii dintre parametrii de funcționare ai acestuia pot fi afectați.

În vederea protecției comutatorului de putere în caz de supracurent sau scurtcircuit, este cunoscută de asemenea o metodă care se bazează pe măsurarea valorii curentului de sursă și generarea unei tensiuni proporționale cu aceasta. Această tensiune este utilizată pentru declanșarea protecției în caz de supracurent. Energia disipată în tranzistor în acest caz, este mult mai mică decât cea generată în caz de desaturare. Problema este senzorul folosit:

- Șunturile (soluție relativ simplă și precisă) care pot fi utilizate doar pentru un curent relativ mic. Problema este căldura generată în șunt de efectul Joule (proporțională cu pătratul curentului efectiv). Pentru curenți mari soluția cu șunt nu se poate aplica datorită pierderilor Joule care pun probleme de răcire și afectează randamentul (la rezistența Drenă-Sursă în conducție se adaugă rezistența șuntului).
- Senzorii cu efect Hall și transformatoarele de curent care sunt ambele scumpe. În unele cazuri, acestea sunt prea lente pentru a fi utilizate ca protecție. Acestea trebuie să poată funcționa pe o lățime de bandă mare (până în zona de MHz).
- Oglinda de curent existentă în modulele de putere care generează un curent proporțional cu curentul de drenă. Problema este că raportul de detecție este puternic dependent de temperatură. De asemenea, metoda poate fi utilizată doar cu module de putere care au detecție a curentului integrată (oglină de curent) care este o soluție scumpă.

Mai este cunoscută, de exemplu, din cererea de brevet **US2019074827A1** publicată la data de 7 martie 2019, soluția unui circuit pentru protecția unui comutator de putere care cuprinde un prim, al doilea și al treilea nod al comutatorului de putere, un circuit

de feedback cuplat la cel puțin unul dintre nodurile comutatorului de putere pentru reglarea unei modificări de curent prin comutatorul de putere și un circuit detector cuplat la circuitul de feedback având o ieșire pentru identificarea faptului că menționatul comutator de putere este în faza de reglare a schimbării curentului prin comutatorul de putere. Circuitul detector poate avea o ieșire suplimentară pentru identificarea unui nivel de reglare a schimbării curentului prin comutatorul de putere. Un circuit de sincronizare este cuplat la circuitul detector având o ieșire pentru generarea unui semnal de supracurent. Circuitul conform **US2019074827A1** mai poate cuprinde un circuit suplimentar de feedback cuplat la cel puțin două dintre nodurile comutatorului de putere pentru reglarea unei schimbări de tensiune pe comutatorul de putere. Un circuit detector suplimentar este cuplat la circuitul de feedback suplimentar având o ieșire pentru identificarea faptului că menționatul comutator este în reglarea schimbării de tensiune. Circuitul detector suplimentar poate cuprinde o ieșire suplimentară pentru identificarea unui nivel de reglare a modificării tensiunii pe comutatorul de putere. Un circuit suplimentar de sincronizare este cuplat la circuitul detector suplimentar, care are o ieșire pentru generarea unui semnal de supratensiune. Circuitul poate fi integrat cu comutatorul de putere într-un circuit integrat comun sau o placă de circuit sau comutatorul de putere poate fi extern și la distanță de celelalte componente ale circuitului. Tot din cererea de brevet **US2019074827A1** este cunoscută o metodă pentru protecția unui comutator de putere care presupune detectarea că o schimbare de curent prin comutatorul de putere este într-o fază de reglare, măsurarea timpului în care schimbarea curentului prin comutatorul de putere este în reglare și compararea timpului în care schimbarea curentului prin comutatorul de putere este în reglare cu un timp de referință. Metoda mai constă în generarea unui semnal de supracurent dacă timpul în care schimbarea curentului prin comutatorul de alimentare este mai mare decât timpul de referință. Metoda cuprinde în plus oprirea comutatorului de putere ca răspuns la semnalul de supracurent și detectarea faptului că o tensiune pe comutatorul de alimentare este în reglare.

În scopul realizării protecției unui modul de putere mai este cunoscută soluția din cererea internațională de brevet **WO2018193001A1** publicată la data de 25.10.2018, care se referă la un dispozitiv convertor alcătuit din două module de putere și la o metodă pentru detectarea unui scurtcircuit într-un astfel de dispozitiv.

Metoda pentru detectarea unui eveniment de scurtcircuit într-un convertor compus din cel puțin două module de putere interconectate între ele pentru a genera o ieșire pe mai multe niveluri, fiecare dintre modulele de putere cuprinzând un senzor de curent adaptat pentru determinarea unui curent de-a lungul unei căi de flux prin modulul de putere, în care fiecare modul de putere cuprinde două comutatoare semiconductoare conectate electric conform **WO2018193001A1**, constă în:

- determinarea a cel puțin două semnale de curent cu cel puțin doi senzori de curent ai modulelor de putere în care pentru fiecare modul de putere este determinat un semnal de curent cu senzorul de curent aferent, care semnal de curent depinde de curenții prin cele două ieșiri ale modulului de putere;
- determinarea unui model de semnal din semnalele curențe prin compararea fiecărui semnal curent cu un prag;
- detectarea evenimentului de scurtcircuit și identificarea unei căi de flux de scurtcircuit (prin căutarea modelului de semnal curent într-un tabel de evenimente de scurtcircuit).

Problema tehnică rezolvată de invenție se referă la măsurarea curentului de emitor (sau sursă în cazul MOSFET) fără utilizarea unui senzor de curent extern în vederea realizării protecției unui modul de putere.

Metoda de detecție a curentului pentru protecția unui modul de putere folosită la măsurarea curentului principal care trece printr-un modul de comutație de putere și la transformarea măsurătorii rezultate într-un semnal capabil să declanșeze protecția modulului de putere în caz de supracurent sau scurtcircuit, conform invenției, se bazează pe inductanța parazită a emitorului de putere măsurată între emitorul utilizat în circuitul de comandă al porții și emitorul de putere ale tranzistorului de putere, și constă în:

- măsurarea tensiunii între emitorul de comandă și emitorul de putere având un punct de măsură aflat în contact cu emitorul de putere, tensiune care este proporțională cu variația curentului emitorului, cu semn schimbat;

- integrarea analogică a tensiunii la bornele inductanței folosind un circuit integrator urmată de schimbarea de semn folosind un amplificator operațional cu care se obține o tensiune care este proporțională cu valoarea curentului emitorului, o fracțiune din această tensiune fiind aplicată apoi unei intrări de protecție la supracurent a unui element de comandă;

- atenuarea oscilațiilor de comutație de înaltă frecvență cu ajutorul circuitului integrator pentru a evita o falsă declanșare a protecției;

- selectarea constantei de timp RC care trebuie să fie de cel puțin trei ori mai mică decât durată minimă a intervalului în care tranzistorul de putere este blocat;

- descărcarea sarcinii de pe condensatorul integrator prin intermediul rezistorului în serie cu rezistența neglijabilă a inductanței parazite a senzorului.

Conform unui aspect al metodei, integrarea pe grupul integratorului începe de la zero.

Circuitul de detecție a curentului pentru protecția unui modul de putere pentru măsurarea curentului principal care trece printr-un modul de comutație de putere și pentru transformarea măsurătorii rezultate într-un semnal capabil să declanșeze protecția modulului de putere în caz de supracurent sau scurtcircuit, conform invenției, este alcătuit din:

- un senzor reprezentat de inductanța parazită a emitorului de putere intrinsec tranzistorului de putere;

- un integrator RC cu constantă de timp suficient de mică (220ns) pentru a nu întârzia semnificativ protecția, semnalul de ieșire V1 din integrator fiind tensiunea proporțională cu curentul care trece prin inductanța parazită, dar cu semn opus;

- un inversor realizat cu un amplificator de mare viteză și un adaptor de amplitudine reprezentat de grupul rezistiv care inversează semnalul de intrare V1 pentru a deveni proporțional cu curentul inductanței parazite pe care îl amplifică sau atenuează astfel încât tensiunea V\_OC de declanșare a protecției unui modul de comandă să fie obținută la valoarea dorită a curentului în senzor, semnalul de ieșire fiind tensiunea V\_OC proporțională cu curentul prin inductanța parazită, cu o amplitudine compatibilă cu nivelul necesar pentru declanșarea protecției modulului de comandă la valoarea dorită a curentului.

Conform unui aspect al invenției, amplificatorul este alimentat de la aceeași sursă de alimentare izolată necesară pentru modulul de comandă.

Conform unei alte variante, circuitul de detecție a curentului pentru protecția unui modul de putere pentru măsurarea curentului principal care trece printr-un modul de comutație de putere și pentru transformarea măsurătorii rezultate într-un semnal capabil să declanșeze protecția modulului de putere în caz de supracurent sau scurtcircuit, conform invenției, este alcătuit din:

- un senzor reprezentat de inductanța parazită a emitorului de putere intrinsec tranzistorului de putere (T1);

- un prim integrator RC, ca prim bloc de intrare și în același timp, ca și un filtru trece jos care atenuează oscilațiile de înaltă frecvență induse de comutațiile tranzistorului de putere, și care integrează tensiunea pe inductanța parazită, între un punct al emitorului de putere și emitorul de comandă, tensiunea integrată rezultată fiind proporțională cu curentul în emitor dar cu semn opus;

- un bloc inversor realizat cu un tranzistor PNP pe a cărei bază este aplicată tensiunea V1 de ieșire a integratorului;

- un rezistor care blochează în mod normal tranzistorul PNP punând baza tranzistorului la masă;

- un prim condensator prin care impulsul de tensiune V2 este aplicat bazei a unui tranzistor NPN care este blocat în stare normală și are rolul de a realiza transferul pulsului de tensiune V2 pe bază a tranzistorului NPN blocând în același timp tensiunea continuă;

- un prim divizor rezistiv care realizează polarizarea bazei la o tensiune de aproximativ 550mV, în repaus tranzistorul NPN rămânând blocat, deschizându-se doar dacă amplitudinea impulsului bazei va fi suficientă pentru a face ca tensiunea bază-emitor să crească peste pragul tipic de 0,7V, la deschiderea tranzistorului NPN, tensiunea de emitor V3 variind în același sens cu tensiunea în bază;

- un al doilea divizor rezistiv care ajustează tensiunea V3 de emitor în intervalul de timp în care tranzistorul NPN este deschis;

- un al doilea integrator care integrează tensiunea V3 de emitor, tensiunea V\_OC de ieșire pe un al doilea condensator fiind aplicată la o intrare de protecție a circuitului de comandă a tranzistorului de putere, astfel că, atunci când tensiunea trece de pragul protecției circuitului de comandă acesta declanșează protecția tranzistorului, prin blocarea porții tranzistorului de putere.

Conform unui alt aspect al invenției, tranzistorul PNP se va deschide atunci când tensiunea V1 bază-emitor depășește valoarea de prag de deschidere de -0.7V.

Conform unui alt aspect al invenției, menționatul prim condensator este încărcat de curentul care trece prin rezistență și astfel, tensiunea pe al doilea condensator electric crește.

Dezavantajele soluțiilor anterioare sunt:

- Detecția curentului periculos este soluția preferată pentru protecția tranzistoarelor de putere deoarece solicitarea la care este supus circuitul în timpul protecției este mult mai mică decât la metoda de desaturare;

- Șuntul este cea mai simplă și precisă soluție pentru măsurarea curentului. Problema apare în cazul valorilor ridicate ale curentului. Efectul Joule va genera căldură care va duce la niveluri de temperatură și pierderi inacceptabile;
- Măsurarea integrată a curentului din modulul de putere (oglină de curent) este disponibilă doar pentru un număr mic de module de putere.
- Măsurarea curentului cu transformator de curent sau traductor Hall este o soluție costisitoare.

Avantajele invenției sunt:

- Se aplică metoda detecției de curent periculos pentru sisteme lucrând cu curenți mari pentru care soluția cu șunt nu este aplicabilă;
- Măsurarea curentului nu necesită senzori suplimentari (cum ar fi oglinda de curent), bazându-se pe inductanța parazită formată între borna de forță (emitor pentru IGBT, sursă pentru MOSFET) și cea de comandă (emitor de comandă pentru IGBT, sursă de comandă pentru MOSFET);
- Măsurarea curentului se bazează pe integrarea tensiunii la bornele inductanței parazite cu un factor de amplificare. Alegerea factorului de amplificare permite protecția tranzistorului de putere la o valoare prestabilită a curentului mai mică decât curentul de scurtcircuit. Stresul total al tranzistorului este mult diminuat.

Se dau în continuare două exemple de realizare ale metodei și circuitului de detecție a curentului pentru protecția unui modul de putere, conform invenției, în legătură cu Figurile 1 - 11, care reprezintă:

Figura 1 - Schema echivalentă a tranzistorului de putere IGBT sau MOSFET, cu evidențierea inductanței parazite, conform invenției;

Figura 2 - Schema echivalentă simplificată a unei semi punți formată din două comutatoare de putere, de exemplu tranzistor de putere IGBT sau MOSFET, cu evidențierea conexiunilor necesare prelevării tensiunii la bornele inductanței parazite, conform invenției;

Figura 3 - Schema circuitului de detecție, conform invenției, conform primului exemplu de realizare, cu amplificator, conform invenției;

Figura 4 - Schema circuitului de simulare pentru circuitul de detecție, conform primului exemplu de realizare a invenției, cu amplificator;

Figura 5 - Forma semnalului de curent funcție de timp pentru circuitul de detecție, conform primului exemplu de realizare a invenției, cu amplificator;

Figura 6 - Forma semnalului de tensiune funcție de timp pentru circuitul de detecție, conform primului exemplu de realizare a invenției, cu amplificator, în funcționare normală;

Figura 7 - Forma semnalului de tensiune funcție de timp pentru circuitul de detecție, conform primului exemplu de realizare a invenției, cu amplificator, la scurtcircuit;

Figura 8 - Schema circuitului de detecție, conform unui al doilea exemplu de realizare a invenției, în varianta implementată cu doar doi tranzistori (PNP și NPN);

Figura 9 - Schema circuitului de simulare pentru circuitul de detecție, conform celui de-al doilea exemplu de realizare a invenției, în varianta implementată cu doar doi tranzistori (PNP și NPN);

Figura 10 - Forma semnalului de tensiune funcție de timp pentru circuitul de detecție, conform celui de-al doilea exemplu de realizare a invenției, în varianta implementată cu doar doi tranzistori (PNP și NPN), în funcționare normală;

Figura 11 - Forma semnalului de tensiune funcție de timp pentru circuitul de detecție, conform celui de-al doilea exemplu de realizare a invenției, în varianta implementată cu doar doi tranzistori (PNP și NPN), la scurtcircuit.

Metoda de detecție a curentului pentru protecția unui modul de putere folosită la măsurarea curentului principal care trece printr-un tranzistor de comutație de putere și la transformarea măsurătorii rezultate într-un semnal capabil să declanșeze protecția comutatorului de putere în caz de supracurent sau scurtcircuit, conform invenției, poate fi aplicată oricărui comutator de putere. În descrierea de mai jos, invenția este exemplificată pe un tranzistor de putere IGBT dar este aplicabilă și unui tranzistor MOSFET fără modificări. Metoda se bazează pe existența "inductanței parazite" de emitor (respectiv de sursă pentru MOSFET).

În Figura 1 se observă că există o inductanță internă **L<sub>p</sub>** inerentă între emitorul de comandă **E1** și emitorul de putere **E<sub>p</sub>** pentru tranzistorul IGBT **T1**. Pentru un tranzistor MOSFET aceeași inductanță internă există între borna sursă de comandă și borna sursă de putere. Valoarea este mică (câțiva nano-Henry) dar inevitabilă. Aceasta este dictată în principal de geometria internă a tranzistorului, astfel încât pentru un anumit tip, variațiile între exemplare sunt neglijabile. Inductanța internă **L<sub>p</sub>** este în serie cu emitorul de putere **E<sub>p</sub>** deci este parcursă de același curent. Blocul de măsurare a curentului **BMC**, prezentat în această descriere în două variante, are rolul de a transforma tensiunea măsurată la bornele inductanței **L<sub>p</sub>** între punctele **E1** și **E1K** într-o tensiune compatibilă cu sistemul de protecție integrat în modulul de comandă **DRV**. Protecția compară tensiunea la intrarea **OC** cu o valoare de prag internă **VOCTH**. În momentul în care valoarea de prag este depășită, modulul de comandă comandă poarta **G1** a tranzistorului IGBT **T1** aduce tensiunea de la ieșirea de comandă **VoL** la valoarea tensiunii negativă **VEE**. Aceasta asigură protejarea tranzistorului **T1** prin blocarea conducției.

În Figura 2 este exemplificat modul de măsurare a tensiunii la bornele inductanței interne **L<sub>p1</sub>**, respectiv **L<sub>p2</sub>** pentru două tranzistoare de putere IGBT **T1**, respectiv **T2** care formează un braț al unei punți (brațul **U**). Pentru tranzistorul **T1** tensiunea la bornele inductanței este măsurată între emitorul **E1** utilizat ca masă flotantă a circuitului de comandă al porții **G1** și emitorul de putere **E<sub>p</sub>** conectat la borna de forță **U**. Potențialul bornei **U** este adus în punctul de măsură prin intermediul unei legături conductoare a cărei bornă, în partea de măsură a fost notată **E1K** (sau borna Kelvin, întrucât are rolul unei borne din puntea Kelvin – transmite potențialul, fiind parcursă de un curent neglijabil). Analog pentru tranzistorul **T2** din partea de jos, tensiunea se măsoară între bornele **E2** și **E2K** (**E2K** aduce potențialul bornei de forță **N** la modulul de măsură).

În prima etapă, se măsoară tensiunea între emitorul de comandă **E1** (respectiv **E2**) și emitorul Kelvin **E1K** (respectiv **E2K**) care transmite potențialul emitorului de putere legat la borna accesibilă **U** (respectiv borna **N** pentru tranzistorul **T2**). Această

tensiune este proporțională cu variația curentului prin inductanța **L<sub>p</sub>**, deci cu variația curentului de emitor:

$$V_{E_1 E_{1K}} = -L_p \times \frac{dI_E}{dt}$$

Figura 3 detaliază metoda de detecție a curentului pentru protecția unui modul de putere folosită la măsurarea curentului principal care trece printr-un modul de comutație de putere și la transformarea măsurătorii rezultate într-un semnal capabil să declanșeze protecția modului de putere în caz de supracurent sau scurtcircuit. Metoda se bazează pe existența inductanței parazite (**L<sub>p</sub>**) a emitorului de putere (**E<sub>p</sub>**), măsurată între emitorul (**E1**) utilizat în circuitul de comandă al porții și emitorul de putere **E<sub>p</sub>**, și constă în:

- măsurarea tensiunii între emitorul de comandă **E1** și emitorul de putere **E<sub>p</sub>** (**E1K**), tensiune care este proporțională cu variația curentului emitorului cu semn schimbat;

- integrarea analogică a tensiunii la bornele inductanței **L<sub>p</sub>** folosind un circuit **R1C1** urmată de schimbarea de semn folosind amplificatorul operațional **U1** cu care se obține o tensiune care este proporțională cu valoarea curentului emitorului **E<sub>p</sub>**, o fracțiune din această tensiune fiind aplicată apoi intrării de protecție **OC** la supracurent a unui modul de comandă **DRV**. Tensiunea de ieșire este similară cu tensiunea măsurată pe un șunt rezistiv fără dezavantajele legate de efectul Joule;

- atenuarea oscilațiilor de comutație de înaltă frecvență cu ajutorul circuitului integrator **R1C1** pentru a evita o falsă declanșare a protecției;

- selectarea constantei de timp RC care trebuie să fie de cel puțin trei ori mai mică decât durată minimă a intervalului în care tranzistorul de putere **T1** este blocat;

- descărcarea sarcinii de pe condensatorul **C1** prin intermediul rezistorului **R1** în serie cu rezistența neglijabilă a inductanței parazite a șuntului **L<sub>p</sub>**.

De menționat că integrarea pe grupul **R1C1** începe de la zero datorită descărcării sarcinii condensatorului **C1** prin rezistența **R1** și șuntul inductiv **L<sub>p</sub>**.

În Figura 3, este prezentată schema cu amplificator operațional.

Primul bloc este un integrator realizat cu grupul **R1C1**. Prin integrare analogică se obține o tensiune **V1** care este proporțională cu valoarea curentului **I<sub>e</sub>** prin emitor, dar cu semn schimbat. În același timp, acest circuit integrator **R1C1** este un filtru trece jos care va atenua oscilațiile de comutație de înaltă frecvență pentru a evita o falsă declanșare a protecției. Selectarea constantei de timp RC a integratorului **R1C1** trebuie ajustată pe baza intervalelor de conducție și blocare ale tranzistorului de putere. Este important ca integrarea tensiunii între punctele **E1** și **E1K** (**V<sub>E1E1K</sub>**) să înceapă de la zero. Sarcina pe condensatorul **C1** se va descărca prin intermediul aceluiși rezistor **R1** utilizat pentru încărcare și prin rezistența inductanței (parazite) **L<sub>p</sub>**. Rezistența inductanței interne **L<sub>p</sub>** este neglijabilă. Deci constanta de timp RC trebuie să fie de cel puțin trei ori mai mică decât durată minimă a intervalului în care tranzistorul de putere este blocat.



Un al doilea bloc realizat cu amplificatorul operațional **U1** și rețeaua rezistivă **R2**, **R3** și **R4** are rolul de a inversa semnul tensiunii **V1** și de a modifica amplitudinea acesteia la nivelul cerut de intrarea de protecție a modulului de comandă de comandă a tranzistorului de putere, punct notat în Figura 3 cu **V\_OC**. Tensiunea de ieșire în punctul notat **V\_OC** este dată de formula:

$$V_{V\_OC} = -V_1 \times \frac{R_4}{R_3}$$

Prin alegerea valorilor **R3** și **R4** se poate realiza amplificarea sau atenuarea tensiunii **V1** proporționale cu inversul curentului de emitor. Astfel se poate alege pragul de supracurent la care să intervină protecția internă a modulului de comandă notat **DRV** în Figura 1.

În Figura 3 și Figura 8 este prezentat circuitul implicat în protecția tranzistoarelor de putere, pentru detecția curentului, în două variante de realizare, care este localizat pe partea de înaltă tensiune a modulului de comandă **DRV**. Aceasta este partea izolată față de partea de joasă tensiune a modulului de comandă **DRV**. Alimentările pentru circuitul de protecție (pozitivă **Vcc** și negativă **VEE**) sunt aceleași cu alimentările izolate **Vcc** respectiv **VEE** utilizate de modulul de comandă **DRV**. Soluțiile din variantele prezentate generează o tensiune cu amplitudine dependentă de curentul de emitor al tranzistorului de putere. Amplitudinea poate fi ajustată pentru declanșarea protecției la valoarea dorită de supracurent.

Semnalul de intrare este tensiunea între emitorul de putere **E1K** în Figura 1 (**E1K** identic cu **U** sau **E2K** identic cu **N** în Figura 2) și emitorul de comandă **E1** în Figura 1 (**E1** sau **E2** în Figura 2). Emitorul de comandă **E1** trebuie conectat la masa izolată **COM** a modulului de comandă **DRV** pentru a nu afecta controlul tranzistorului de putere.

Circuitul de detecție a curentului, conform Figurii 3, în varianta cu amplificator, este compus din:

- Un senzor reprezentat de inductanța parazită (șunt) **Lp**. Acest senzor **Lp** este intrinsec tranzistorului de putere (nu trebuie adăugate componente fizice). "Semnalul" de intrare este curentul care trece prin emitorul de putere **Emitor de putere** în Figura 1. Semnalul de ieșire este tensiunea proporțională cu  $-di/dt$ . Aceasta este măsurată între emitorul de comandă **E1** și punctul de măsură **E1K** aflat în contact cu emitorul de putere **Emitor de putere** în Figura 1. Emitorul de comandă **E1** reprezintă potențialul zero (intrarea **COM**) a părții izolate a modulului de comandă **DRV**.
- Un bloc Integrator RC, reperatele **R1** și **C1** cu constantă de timp suficient de mică (220ns) pentru a nu întârzia semnificativ protecția și a permite descărcarea condensatorului **C1** pe perioada de blocare a tranzistorului de putere **T1**. Semnalul de ieșire **V1** este tensiunea proporțională cu curentul care trece prin șuntul **Lp** dar cu semn opus;
- Un bloc inversor și adaptor de amplitudine realizat cu amplificatorul operațional de mare viteză **U1** și rezistențele **R2**, **R3**, **R4**. Semnalul de intrare **V1** este inversat pentru a fi direct proporțional cu curentul șuntului inductiv **Lp** și amplificat/atenuat astfel încât tensiunea de declanșare să fie obținută la valoarea specifică a curentului în șuntul inductiv. Amplificatorul **U1** este alimentat de la sursa de alimentare izolată (**Vcc** și **VEE**) pentru modulul de

comandă **DRV** (Figura 1). Semnalul de ieșire este tensiunea proporțională cu curentul șuntului **Lp** cu o amplitudine compatibilă cu nivelul necesar pentru declanșarea protecției la valoarea dorită a curentului.

Amplificarea este dată de ecuația:

$$A = -\frac{R4}{R3}$$

Prin modificarea valorilor acestor rezistoare **R3** și **R4** este posibilă obținerea unei amplificări sau unei atenuări a semnalului de intrare **V1**.

În Figura 4 este prezentat un circuit de simulare pentru varianta cu amplificator. Circuitul este compus din:

- Tranzistorul de putere **T1**;
- Sursa de comandă **V1** simulând comanda PWM pentru grila tranzistorului **T1**. Aceasta generează un semnal tip puls dreptunghiular între -8V și 15V cu perioada de 100μs și factor de umplere 50%;
- Sursa de tensiune de putere **V2** cu o tensiune de 400V;
- Sarcina inductiv-rezistivă **L1** în serie cu **R6**;
- Sursele de tensiune **V3** și **V4** de 15V respectiv -8V, care simulează sursele de tensiune izolată ale modulului de comandă **Vcc** și **VEE**.
- Simulatorul de scurtcircuit realizat cu întrerupătorul **S1** care scurtcircuitează sarcina **L1** și **R6** și cu sursa **V5** care comandă închiderea întrerupătorului **S1** la 903μs de la începerea simulării;
- Blocurile **Integrator** (cu R1 C1) și **Inversor și adaptor de amplitudine** (cu amplificatorul **U1** și rezistentele **R2, R3, R4**);

Figura 5 exemplifică comportarea schemei fără protecție. Curentul prin emitorul de putere (aceiași curent trece prin inductanța **Lp**) este reprezentat de traseul (1). S-a simulat un scurtcircuit declanșat la 903μs de la începutul simulării. Se observă că valoarea curentului, care anterior scurtcircuitului este de 60A crește pe durata scurtcircuitului la un vârf de 400A.

Figura 6 exemplifică intrarea în comutație a tranzistorului **T1** anterior scurtcircuitului. În funcționare normală, se observă:

- Curentul prin inductanța **Lp** (traseul (2)). Acesta prezintă un vârf de 65A;
- Tensiunea **V1** la ieșirea din blocul integrator **R1C1** (traseul (3)). Se observă ca tensiunea **V1** urmărește fidel variațiile de curent prin **Lp** dar au sens opus. Valoarea de vârf corespunzătoare curentului de vârf (65A) este de -480mV;
- Tensiunea **V\_OC** de ieșire din amplificatorul **U1** (traseul (4)). Se observă că vârful tensiunii de ieșire este 320mV pentru un curent de vârf de 65A.

Figura 7 arată ce se întâmplă în timpul scurtcircuitului la o scara mult dilatată în timp:

- Curentul prin inductanța **Lp** (traseul (5)). Se observă creșterea curentului la o valoare mai mare de 350A într-un interval mai mic de 0.3μs ulterior scurtcircuitului survenit la momentul 903μs.
- Tensiunea **V1** la ieșirea din blocul integrator **R1C1** (traseul (6)). Se observă că tensiunea **V1** tinde să atingă o valoare de vârf de -2.8V ca urmare a creșterii rapide a curentului prin inductanța **Lp**.

- Tensiunea de ieșire **V\_OC** (traseul (7)) tinde să ajungă la o valoare de vârf de 1.9V. Fereastra de măsură arată că în caz de scurtcircuit, tensiunea de ieșire atinge 0,7V, adică nivelul pragului de declanșare al modulului de comandă **DRV**, în 260ns de la apariția scurtcircuitului.

Schema prezentată anterior este simplă dar relativ scumpă considerând faptul că amplificatorul operațional trebuie să aibă lățime de bandă mare și viteză ridicată de creștere a tensiunii de ieșire.

Figura 8 prezintă o altă variantă constructivă, mai economică pentru **Blocul de măsurare a curentului** din Figura 1. Aceasta este implementată cu doar doi tranzistori (unul PNP și unul NPN).

Ca și la schemele anterioare, alimentarea cu energie este obținută de la sursa de alimentare izolată (**VCC** și **VEE**) a modulului de comandă **DRV**.

- Primul bloc este un integrator realizat cu grupul **R1C1**. Prin integrare analogică se obține o tensiune **V1** care este proporțională cu valoarea curentului emitorului **Ie** dar cu semn schimbat. În același timp acest circuit este un filtru trece jos care va atenua oscilațiile de comutație de înaltă frecvență pentru a evita o falsă declanșare a protecției. Selectarea constantei de timp RC a integratorului **R1C1** trebuie ajustată pe baza intervalelor de conducție și blocare ale tranzistorului de putere.
- Tensiunea de ieșire **V1** a blocului integrator **R1C1** este aplicată bazei tranzistorului PNP **Q1**. Tranzistorul este în mod normal blocat de rezistorul **R2** care ține baza tranzistorului la potențialul de 0V al masei (potențialul **E1**). Tranzistorul **Q1** se va deschide numai când tensiunea de baza **V1** depășește pragul de deschidere bază-emitor de -0.7V. Aceasta se întâmplă doar în perioada tranzitorie de deschidere a tranzistorului de putere **T1** (deoarece curentul de emitor al **T1** crește și în consecință este generat un impuls de tensiune negativă pe inductanța **Lp**, care este integrat de rețeaua **R1C1**).
- În momentul în care tensiunea **V1** de ieșire din integratorul **R1C1** scade sub valoarea de prag de deschidere de -0.7V a tranzistorului **Q1**, în colectorul tranzistorului PNP **Q1** tensiunea **V2** va crește de la **VEE** (tensiune atunci când **Q1** este blocat) până la o valoare intermediară între **VCC** și **VEE**, ajustabilă prin intermediul rezistoarelor **R3** și **R4**. Tensiunea **V2** variază invers față de tensiunea **V1**, deci în același sens cu curentul prin inductanța **Lp**.
- Impulsul tensiunii **V2** este aplicat prin intermediul unui prim condensator **C3** bazei tranzistorului NPN **Q2**. Condensatorul **C3** împreună cu rezistența **R6** fac un bloc de derivare, astfel ca tensiunea de baza **VB2** este derivată tensiunii **V2**.
- Tranzistorul **Q2** este de asemenea blocat în stare normală. Tensiunea bazei **VB2** dictată de divizorul rezistiv **R5** și **R6** este de aproximativ 550mV. Acesta se va deschide doar dacă amplitudinea impulsului bazei și durata vor fi suficiente pentru a face ca tensiunea **VB2** să crească peste pragul tipic de 0,7V. La deschiderea **Q2**, tensiunea de emitor **V3** variază în același sens cu tensiunea în bază **VB2** (repetor pe emitor).
- Tensiunea pe un al doilea condensator **C2** este adusă la 0V de către intrarea **OC** a modulului de comandă **DRV**. Aceasta intrare este ținută la 0V pe perioada în care modulul de comandă **DRV** blochează tranzistorul de putere **T1** (durata de blocare a tranzistorului de putere **T1**). Aceasta asigură ca integrarea tensiunii **V3**, realizată de al doilea integrator **C2R9**, pornește mereu

de la 0V. Integrarea tensiunii **V3** compensează derivarea tensiunii **V2** (datorate blocului derivator **C3R6**).

- În intervalul de timp în care **Q2** este deschis, tensiunea de emitor **V3** crește către o valoare ajustabilă prin divizorul rezistiv **R7** și **R8**. Condensatorul **C2** este încărcat de curentul care trece prin rezistența **R9** și tensiunea pe condensatorul **C2** crește. Tensiunea **V\_OC** de ieșire pe condensatorul **C2** este conectată la intrarea de protecție **OC** (Figura 1) a modulului de comandă **DRV**. Atunci când tensiunea trece de pragul protecției modulului de comandă **DRV** (de obicei valoarea 0,7V) acesta declanșează protecția tranzistorului **T1** (prin blocarea porții **G1**).

În Figura 9 este prezentat un circuit de simulare pentru varianta cu două tranzistoare.

Circuitul este compus din:

- Tranzistorul de putere **T1**;
- Sursa **V1** simulând semnalul de comandă pentru grila tranzistorului **T1**. Aceasta generează un semnal tip puls dreptunghiular între -8V și 15V cu perioada de 100μs și factor de umplere 50%;
- Sursa de tensiune de putere **V2** cu o tensiune de 400V;
- Sarcina inductiv-rezistivă **L1** în serie cu **R6**;
- Sursele de tensiune **V3** și **V4** de 15V respectiv -8V, care simulează sursele de tensiune izolată ale modulului de comandă **Vcc** și **VEE**.
- Simulatorul de supracurent realizat cu întrerupătorul **S1** care pune în paralel rezistența **R13** cu sarcina **L1** și **R6**. Întrerupătorul **S1** este alimentat de sursa **V5** care comandă închiderea întrerupătorului **S1** la 903μs de la începerea simulării;
- Blocurile **Integrator (R1, C1)**, **Inversor** (cu tranzistorul **Q1** și rezistențele **R3, R4**), derivator (**C3, R9**) adaptor de amplitudine (cu tranzistorul **Q2** și rezistențele **R10, R11**) și Integrator (**R12, C2**);
- Tensiunea de ieșire pentru declanșarea protecției este notată **V\_OC**.

Figura 10 exemplifică comportarea schemei fără protecție la supracurent. Curentul prin emitorul de putere (aceiași curent trece prin inductanța **Lp**) este reprezentat de traseul (8). Tensiunea de ieșire **V\_OC** este traseul (9). În timpul funcționării normale, deschiderea tranzistorului de putere **T1** duce la creșterea curentului care are valoarea de 80A. Efectul asupra tensiunii de ieșire este o creștere de aproximativ 20mV.

Supracurentul simulat este declanșat la 903μs de la începutul simulării. Activarea **S1** duce la o creștere a curentului prin inductanța **Lp** la valoarea de 210A. Tensiunea de ieșire **V\_OC** are o creștere cu vârful la 1.2V.

Figura 11 detaliază intervalul de timp de după apariția supracurentului. Curentul prin inductanța **Lp** este reprezentat de traseul (10). Tensiunea de ieșire **V\_OC** este traseul (11). Nivelul pragului de declanșare a protecției (0.7V) este atins într-un interval de timp scurt (aproximativ 50 ns de la apariția supracurentului).

Rezumând, metoda de detecție a curentului pentru protecția unui modul de putere folosită la măsurarea curentului principal care trece printr-un modul de comutație de putere și la transformarea măsurătorii rezultate într-un semnal capabil să declanșeze protecția modulului de putere în caz de supracurent sau scurtcircuit se bazează pe

inductanța parazită (**Lp**) a emitorului de putere (**Ep**), măsurată între emitorul (**E1**) utilizat în circuitul de comandă al porții și emitorul de putere **Ep**, și constă în:

- măsurarea tensiunii între emitorul de comandă **E1** și emitorul de putere **Ep** (**E1K**), tensiune care este proporțională cu variația curentului emitorului cu semn schimbat;

- integrarea analogică a tensiunii la bornele inductanței **Lp** folosind un circuit **R1C1** urmată de schimbarea de semn folosind amplificatorul operațional **U1** cu care se obține o tensiune care este proporțională cu valoarea curentului emitorului **Ep**, o fracțiune din această tensiune fiind aplicată apoi intrării de protecție **OC** la supracurent a unui modul de comandă **DRV**. Tensiunea de ieșire este similară cu tensiunea măsurată pe un șunt rezistiv fără dezavantajele legate de efectul Joule;

- atenuarea oscilațiilor de comutație de înaltă frecvență cu ajutorul circuitului integrator **R1C1** pentru a evita o falsă declanșare a protecției;

- selectarea constantei de timp RC care trebuie să fie de cel puțin trei ori mai mică decât durata minimă a intervalului în care tranzistorul de putere **T1** este blocat;

- descărcarea sarcinii de pe condensatorul **C1** prin intermediul rezistorului **R1** în serie cu rezistența neglijabilă a inductanței parazite a șuntului **Lp**.

De menționat că integrarea pe grupul **R1C1** începe de la zero.

Deși variantele de realizare sunt dezvăluite pe post de exemplu pentru circuite și metoda pentru utilizarea lor, prezenta invenție nu este limitată în mod necesar la exemplele de variante prezentate. Astfel, exemplele concrete dezvăluite mai sus sunt doar ilustrative și nu ar trebui luate ca limitări ale prezentei invenții, deoarece invenția poate fi modificată și practică în moduri diferite, dar echivalente, evidente celor calificați în domeniu, care au avantajul celor învățate din prezenta descriere. În consecință, descrierea de mai sus nu este destinată să limiteze invenția la forma particulară stabilită, ci dimpotrivă, este destinată să acopere astfel de alternative, modificări și echivalenți care pot fi incluși în spiritul și domeniul de aplicare al invenției, astfel cum este definită de revendicările anexate, astfel încât specialiștii în domeniu să înțeleagă că pot face diverse modificări și înlocuiri fără a se îndepărta de spiritul și scopul invenției în forma sa cea mai largă.

Sfera prezentei invenții nu se limitează la exemplele de realizare specifice descrise aici. În plus, din descriere și figurile însoțitoare, pentru specialistul din domeniu rezultă diferite alte modificări ale prezentei invenții, suplimentar față de exemplele prezentate aici, care se încadrează, de asemenea, în domeniul de protecție al revendicărilor. Suplimentar, în descriere sunt citate diferite documente din stadiul tehnicii cunoscut, al căror conținut este prezentat în integralitatea acestora prin referință.

## Revendicări

1. Metodă de detecție a curentului pentru protecția unui modul de putere folosită la măsurarea curentului principal care trece printr-un modul de comutație de putere (**T1**) și la transformarea măsurătorii rezultate într-un semnal capabil să declanșeze protecția modulului de putere în caz de supracurent sau scurtcircuit **caracterizată prin aceea că**, se bazează pe inductanța parazită (**Lp**) a emitorului de putere (**Ep**), măsurată între emitorul (**E1**) utilizat în circuitul de comandă al porții (**G1**) și emitorul de putere (**Ep**), și constă în:

- măsurarea tensiunii între emitorul de comandă (**E1**) și emitorul de putere (**Ep**) având un punct de măsură (**E1K**) aflat în contact cu emitorul de putere (**Ep**), tensiune care este proporțională cu variația curentului emitorului cu semn schimbat;

- integrarea analogică a tensiunii la bornele inductanței (**Lp**) folosind un circuit integrator (**R1C1**) urmată de schimbarea de semn folosind un amplificator operațional (**U1**) cu care se obține o tensiune care este proporțională cu valoarea curentului emitorului (**Ep**), o fracțiune din această tensiune fiind aplicată apoi unei intrări de protecție (**OC**) la supracurent a unui modul de comandă (**DRV**);

- atenuarea oscilațiilor de comutație de înaltă frecvență cu ajutorul circuitului integrator (**R1C1**) pentru a evita o falsă declanșare a protecției;

- selectarea constantei de timp RC care trebuie să fie de cel puțin trei ori mai mică decât durata minimă a intervalului în care tranzistorul de putere (**T1**) este blocat;

- descărcarea sarcinii de pe un condensator (**C1**) prin intermediul rezistorului (**R1**) în serie cu rezistența neglijabilă a inductanței parazite (**Lp**) a sensorului.

2. Metodă de detecție, conform revendicării 1, **caracterizată prin aceea că**, integrarea pe grupul integratorului (**R1C1**) începe de la zero.

3. Circuit de detecție a curentului pentru protecția unui modul de putere folosit la măsurarea curentului principal care trece printr-un modul de comutație de putere (**T1**) și la transformarea măsurătorii rezultate într-un semnal capabil să declanșeze protecția modulului de putere în caz de supracurent sau scurtcircuit, **caracterizat prin aceea că**, este alcătuit din:

- un senzor reprezentat de inductanța parazită (**Lp**) a emitorului de putere (**Ep**) intrinsec tranzistorului de putere (**T1**);

- un integrator RC (**R1C1**) cu constantă de timp suficient de mică (220ns) pentru a nu întârzia semnificativ protecția, semnalul de ieșire V1 din integratorul (**R1C1**) fiind tensiunea proporțională cu curentul care trece prin inductanța parazită (**Lp**), dar cu semn opus;

- un inversor realizat cu un amplificator (**U1**) de mare viteză și un adaptor de amplitudine reprezentat de grupul rezistiv (**R3, R4**) care inversează semnalul de intrare V1 pentru a deveni proporțional cu curentul inductanței parazite (**Lp**) pe care îl amplifică sau atenuază astfel încât tensiunea V\_OC de declanșare a protecției modulului de comandă (**DRV**) să fie obținută la valoarea dorită a curentului în șunt, semnalul de ieșire fiind tensiunea V\_OC proporțională cu curentul inductanței parazite (**Lp**) cu o amplitudine compatibilă cu nivelul necesar pentru declanșarea protecției modulului de comandă (**DRV**) la valoarea dorită a curentului.

4. Circuit de detecție, conform revendicării 3, **caracterizat prin aceea că**, amplificatorul (**U1**) este alimentat de la aceeași sursă de alimentare izolată (**Vcc** și

**V<sub>EE</sub>**) necesară pentru modulul de comandă (**DRV**) care este circuitul de comandă a tranzistorului (**T1**).

5. Circuit de detecție a curentului pentru protecția unui modul de putere folosit la măsurarea curentului principal care trece printr-un modul de comutație de putere (**T1**) și la transformarea măsurătorii rezultate într-un semnal capabil să declanșeze protecția modulului de putere în caz de supracurent sau scurtcircuit, **caracterizat prin aceea că**, este alcătuit din:

- un senzor reprezentat de inductanța parazită (**L<sub>p</sub>**) a emitorului de putere (**E<sub>p</sub>**) intrinsec tranzistorului de putere (**T1**);

- un prim integrator RC (**R1C1**), ca prim bloc de intrare și în același timp, ca și un filtru trece jos care atenuează oscilațiile de înaltă frecvență induse de comutațiile tranzistorului de putere (**T1**), și care integrează tensiunea pe inductanța (**L<sub>p</sub>**), între un punct (**E1K**) al emitorului de putere (**E<sub>p</sub>**) și emitorul de comandă (**E1**), tensiunea integrată rezultată fiind proporțională cu curentul în emitorul (**E<sub>p</sub>**) dar cu semn opus;

- un bloc inversor realizat cu un tranzistor PNP (**Q1**) pe a cărei bază (**Q1.B**) este aplicată tensiunea **V1** de ieșire a integratorului (**R1C1**);

- un rezistor (**R2**) care blochează în mod normal tranzistorul PNP (**Q1**) prin punerea la masă a bazei (**E1**);

- un prim condensator (**C3**) prin care impulsul de tensiune **V2** este aplicat bazei (**Q2.B**) unui tranzistor NPN (**Q2**), tranzistorul (**Q2**) fiind blocat în stare normală, și are rolul de a realiza transferul pulsului de tensiune **V2** pe baza (**Q2.B**) a tranzistorului NPN (**Q2**) fără a transmite și tensiunea continuă;

- un prim divizor rezistiv (**R5** și **R6**) care realizează polarizarea bazei (**Q2.B**) la o tensiune de aproximativ 550mV, în repaus tranzistorul NPN (**Q2**) rămânând blocat, deschizându-se doar dacă amplitudinea impulsului bazei va fi suficientă pentru a face ca tensiunea bază-emitor să crească peste pragul tipic de 0,7V, la deschiderea tranzistorului NPN (**Q2**), tensiunea de emitor **V3** variind în același sens cu tensiunea în bază (**VB2**);

- un al doilea divizor rezistiv (**R7** și **R8**) care ajustează tensiunea **V3** de emitor în intervalul de timp în care tranzistorului NPN (**Q2**) este deschis;

- un al doilea integrator (**R9C2**) care integrează tensiunea **V3** de emitor, tensiunea **V<sub>OC</sub>** de ieșire pe un al doilea condensator (**C2**) fiind aplicată la o intrare de protecție (**OC**) a modulului de comandă (**DRV**) a tranzistorului de putere (**T1**), astfel că, atunci când tensiunea trece de pragul protecției modulului de comandă (**DRV**) acesta declanșează protecția tranzistorului (**T1**), prin blocarea porții (**G1**) a tranzistorului de putere (**T1**).

6. Circuit de detecție, conform revendicării 5, **caracterizat prin aceea că** tranzistorul PNP (**Q1**) se va deschide atunci când tensiunea **V1** bază-emitor depășește valoarea de prag de deschidere de -0.7V.

7. Circuit de detecție, conform revendicării 5, **caracterizat prin aceea că** menționatul prim condensator (**C3**) este încărcat de curentul care trece prin rezistența (**R9**) și tensiunea pe al doilea condensator electric (**C2**) crește.

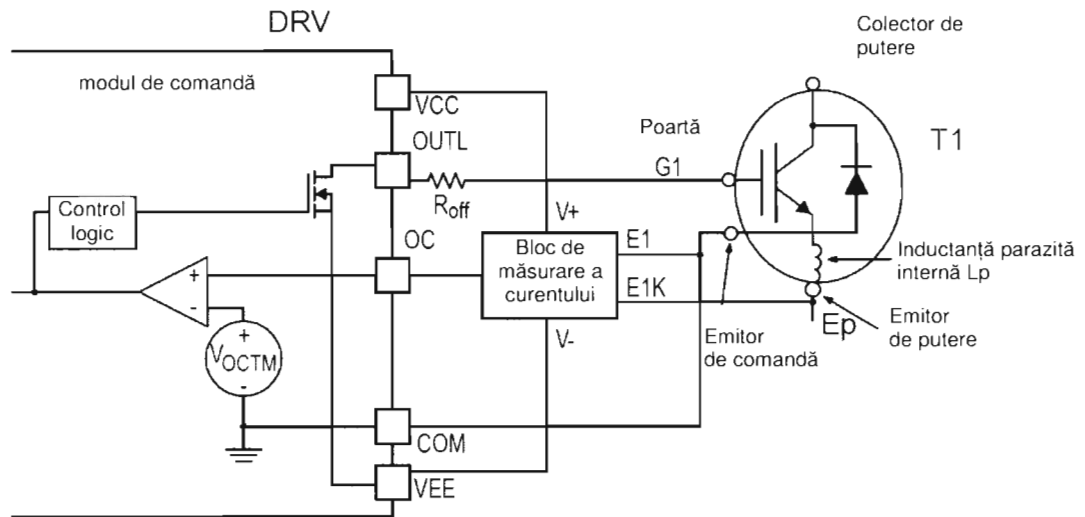


Figura 1



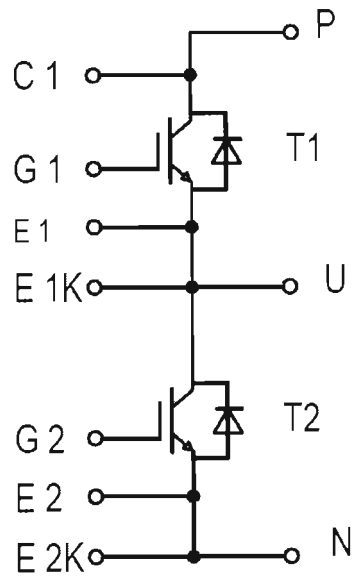


Figura 2

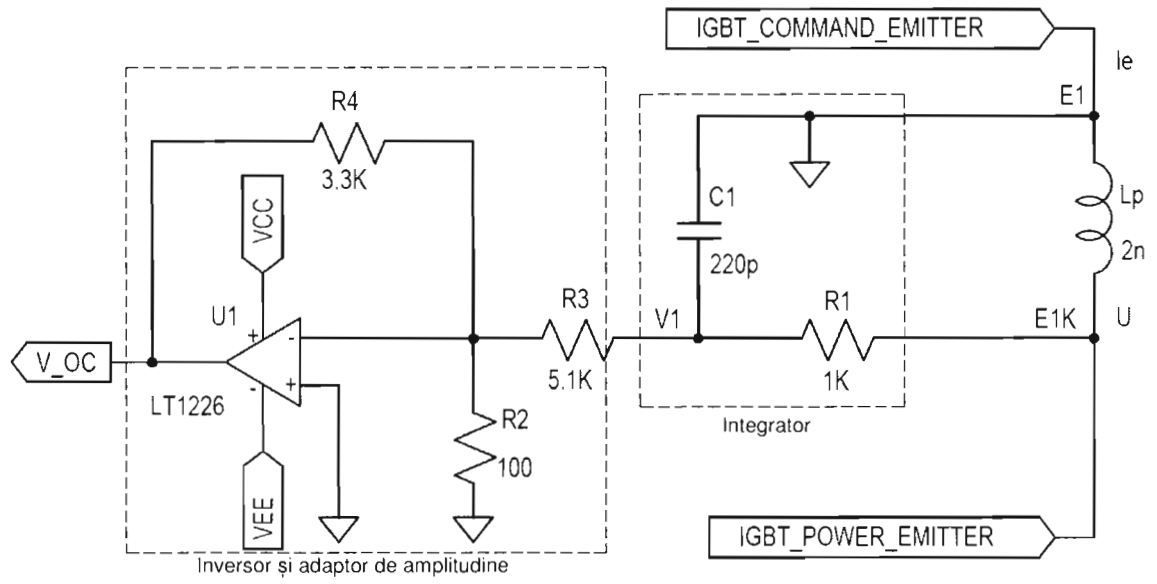


Figura 3

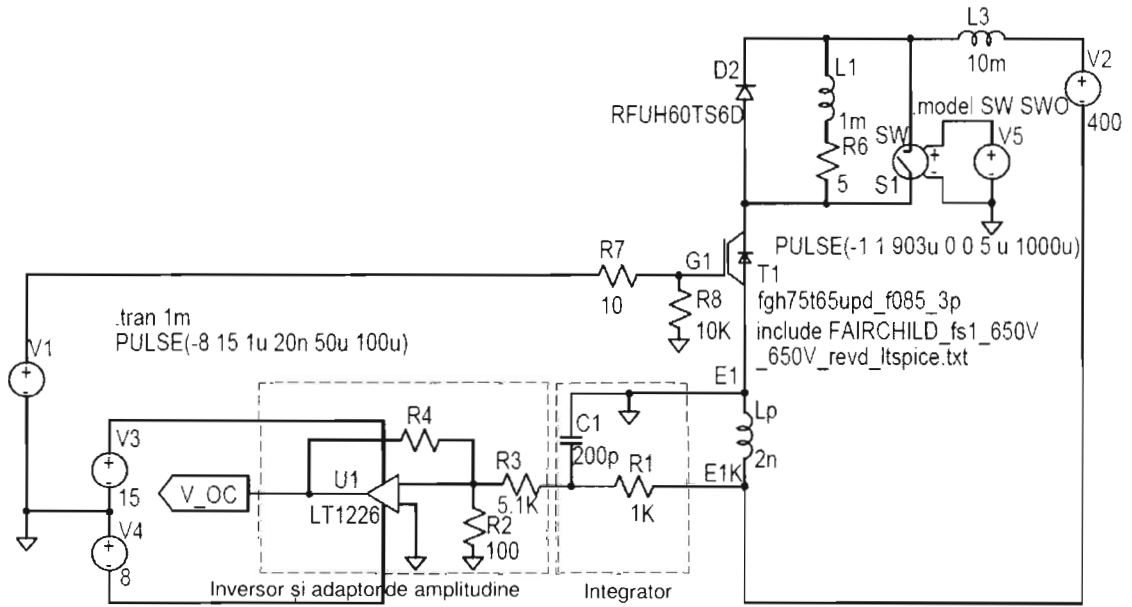


Figura 4

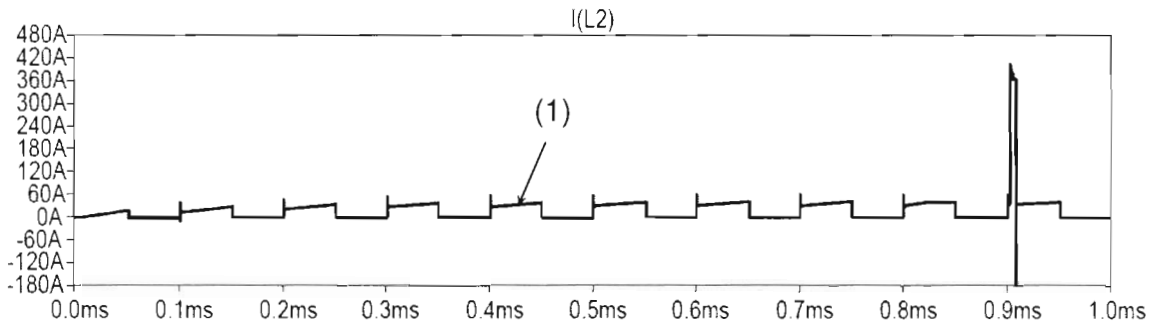


Figura 5

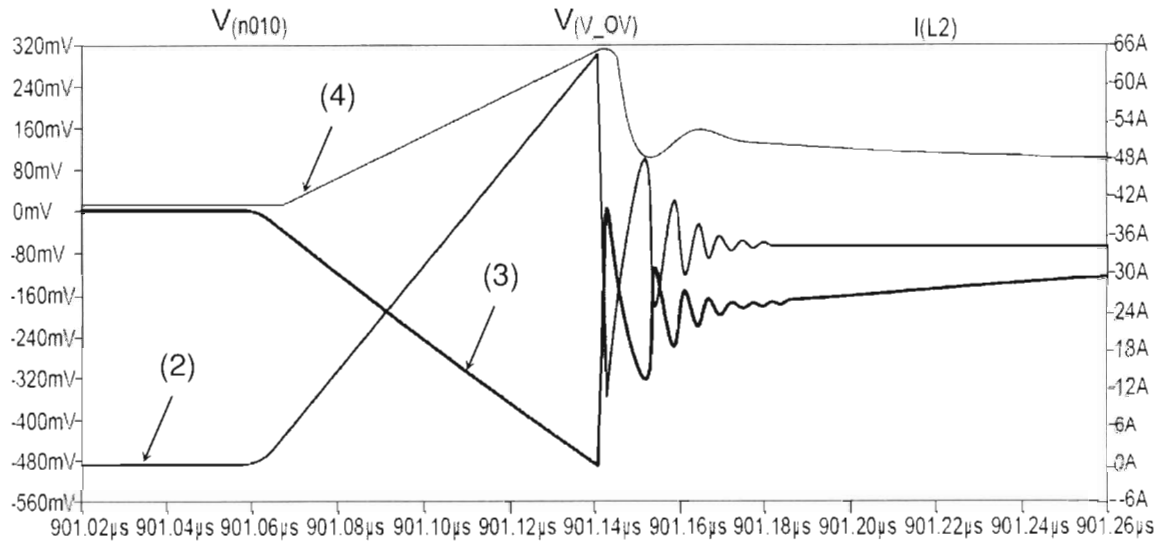


Figura 6

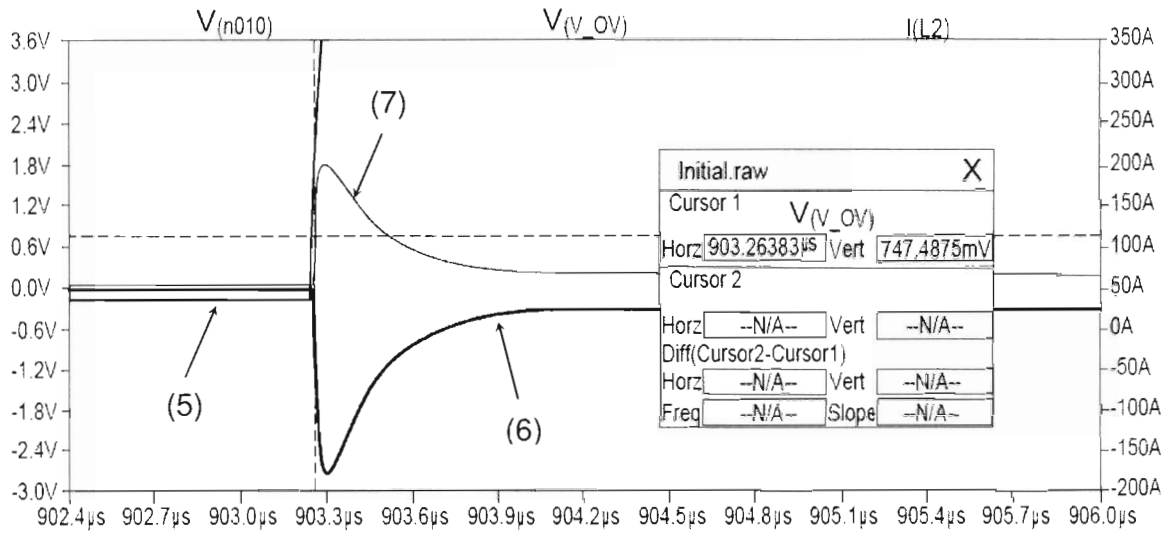


Figura 7

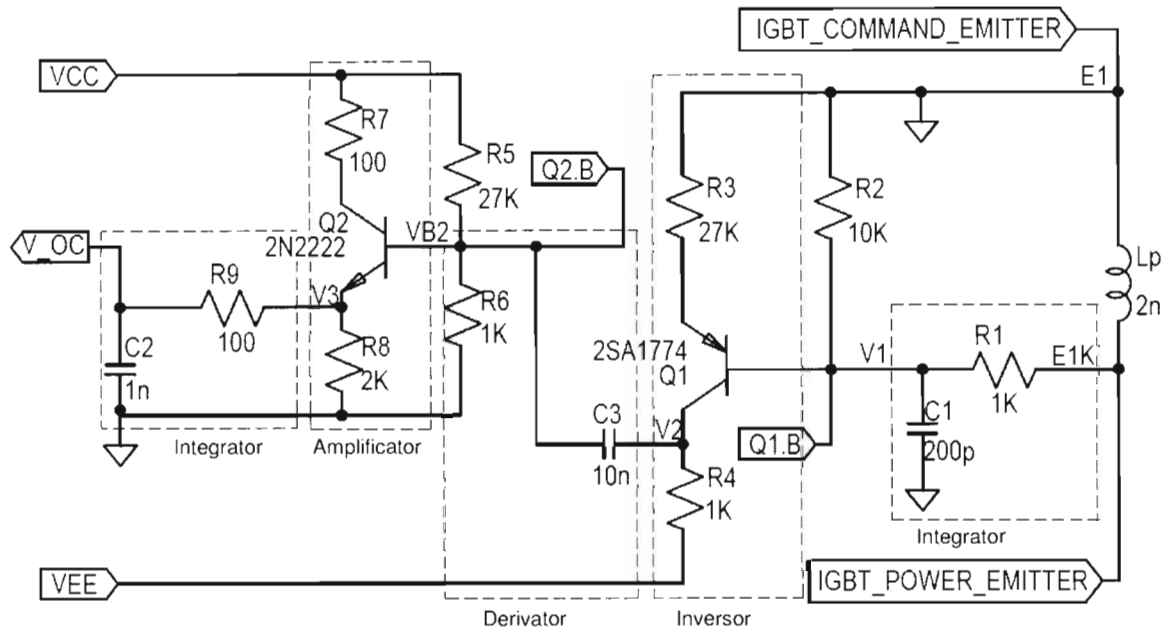


Figura 8

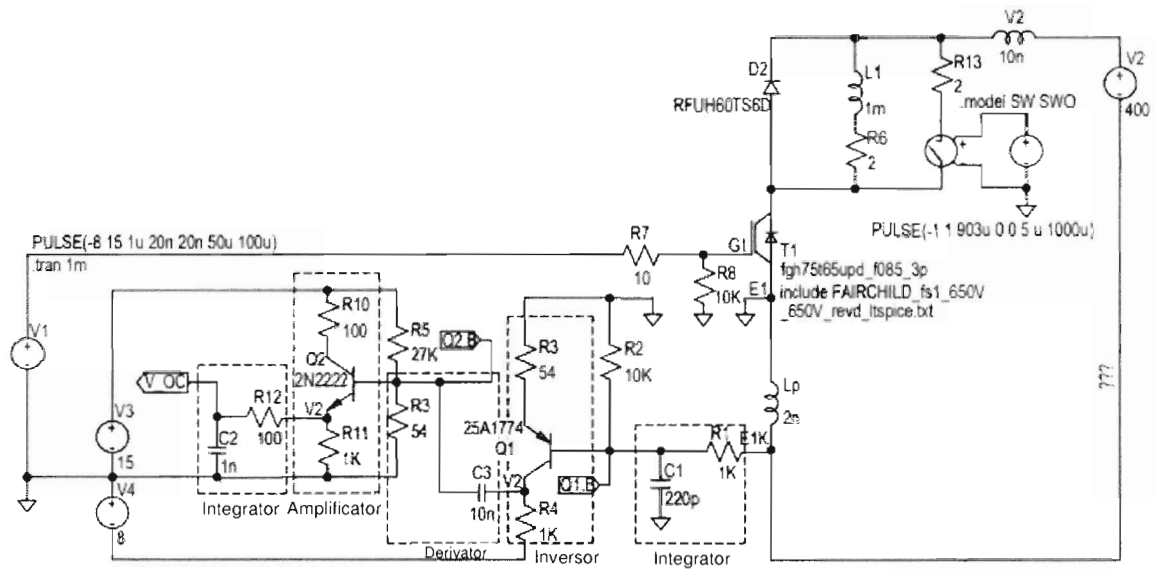


Figura 9



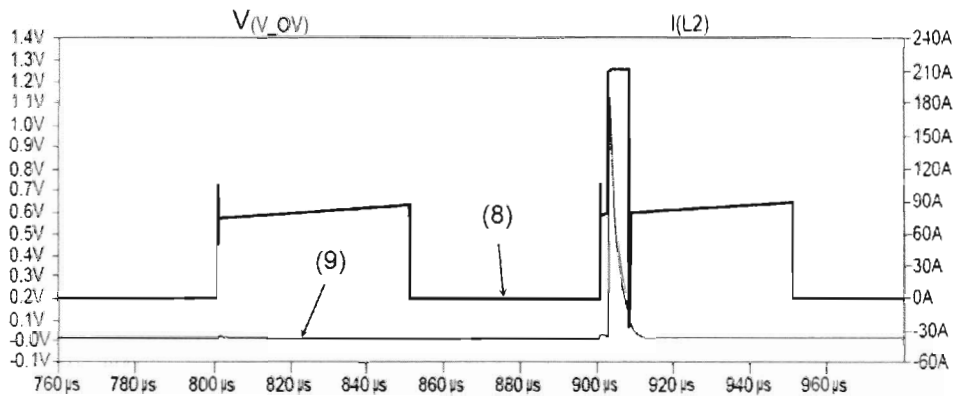


Figura 10

87

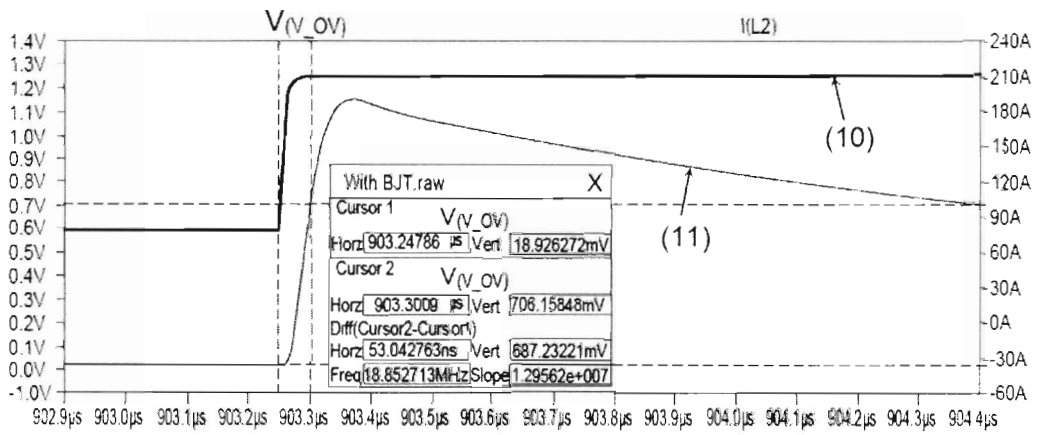


Figura 11