

A NEW LEASED LINE MODEM INTERFACE CIRCUIT PROTECTION

UN NOU CIRCUIT DE PROTECȚIE A INTERFEȚEI DE LINIE PENTRU MODEM-URILE DE LINIE ÎNCHIRIATĂ

Eugen COCA

Facultatea de Inginerie Electrică, Universitatea "Ștefan cel Mare" Suceava, România
13, Universității, 720229
Tel: +40 (0)230 522978/273; Fax: +40 (0)230 520277; E-mail: ecoca@eed.usv.ro

Rezumat: Echipamentele de comunicație pe linie închiriată sunt utilizate de companiile de electricitate pentru transmiterea informațiilor din sistemele SCADA de mai bine de treizeci de ani. Progresele recente din domeniul tehnicilor de modulație și a algoritmilor de corecție a datelor au făcut posibile viteze de transmisie de sute de kbiți pe secundă, permițând utilizarea în continuare a acestei soluții în detrimentul altora mult mai moderne. Una dintre componentele cele mai vulnerabile a acestui tip de transmisie este tocmai interfața dintre linia de comunicație și modemul propriu-zis. Din cauza supratensiunilor, a impedanței caracteristice a liniei de comunicație și nu în ultimul rând a perturbațiilor de înaltă tensiune, interfața de cuplare cu linia trebuie atent proiectată pentru a asigura atât calea de comunicație pentru semnal cât și protecția echipamentelor cerută de standardele în vigoare. Pornind de la o configurație standard, acest articol propune o nouă topologie a circuitului de interfață care să satisfacă cele mai drastice cerințe impuse și documentate în standardele ITU-T K41 și EN50065-1 și să asigure cea mai mare bandă posibilă pentru transmisia datelor. Este prezentată noua topologie de circuit împreună cu măsurători practice și rezultate ale simulărilor.

Keywords: linie închiriată, comunicație, protecție, perturbație, filtru, rețea de cuplare, modem.

1. Introducere

Proiectarea unui circuit de protecție pentru o linie telefonică a fost întotdeauna o sarcină dificilă. Există reglementări internaționale și naționale care se ocupă de aceste aspecte. Una dintre ele este recomandarea ITU K.41 [1] care precizează nivelele de protecție pentru echipamentele de telecomunicații. Nivelele perturbațiilor introduse în liniile de telecomunicații de fulgere și comutația circuitelor de mare putere, mai ales atunci când modemul este instalat lângă sau chiar în stația de transformare, sunt extrem de mari. Informațiile și datele prezentate în această lucrare au la bază câțiva ani de măsurători și teste reale folosind modem-uri de linie închiriată de mare viteză de ultimă generație.

2. Circuite de protecție obișnuite

Majoritatea dispozitivelor de protecție actuale utilizează o topologie standard. Componenta de protecție principală este reprezentată de un varistor MOV (Metal Oxide Varistor), dimensionat corespunzător pentru curentul maxim (Figura 1.a) [5]. Există dispozitive disponibile comercial, construite pentru a satisface cerințele impuse de norma IEC 61000-4-5-2001 - "Surge immunity test" [2] și de norma IEEE C62.41-1991 - "IEEE Recommended Practice on Surge Voltages in Low-voltage AC Power Circuits" [3] care utilizează o schemă mult mai complexă (Figura 1.b) [5].

Abstract: Leased line communication equipments were used by electricity companies to send data from SCADA equipments for almost thirty years. Recent developments in modulation and error correction algorithms made possible data rates of several hundred kbits per second, allowing this method to be used as an alternative for other modern solutions. One of the most critical components of this transmission is the interface between the transmission line and the modem itself. Due to high overvoltages, impedance characteristics of leased lines and, not at the last, due to extremely high amplitude and time-independent disturbances, the coupling network needs to be carefully designed to provide both the signal path and the safety required by the standards. Starting from standard configurations, this article presents some theoretical aspects of leased line coupling network and propose a new protection circuit topology that complies with the most critical EMI condition documented in ITU-T K41 and EN50065-1 and provides the largest available bandwidth for data transmission. We provide a new circuit topology and both practical measurements and simulation results.

Keywords: leased-line, communications, protection, disturbances, filter, coupling, network, modem.

1. Introduction

Designing a protection device for a phone line was always a challenging task. There are international and national regulations dealing with this aspect. One of them is the ITU K.41 recommendation [1] which specifies the levels of protection for telecommunication equipments. Perturbation levels introduced in phone lines by lightnings and high current commutation circuits, especially when the modem is installed near or in a power station, are considerably high. The information and data presented in this paper are based on several years of real-life tests and measurement made using high-end high speed leased line modems.

2. Current protection circuits

Most of today surge protection devices use a standard topology. The main protection device is a MOV (Metal Oxide Varistor), well dimensioned for the maximum rated current (Figure 1.a) [5]. Some commercially available devices, made to comply with IEC 61000-4-5-2001 - "Surge immunity test" [2] and with IEEE C62.41-1991 - "IEEE Recommended Practice on Surge Voltages in Low-voltage AC Power Circuits" [3] uses a more complex scheme (Figure 1.b) [5].

The main protection device for reducing low voltage

Componenta principală care realizează protecția la supratensiuni de valoare mică este în acest caz un descărcător cu gaz (GD) dimensionat de la 120 până la 180V. Timpul de răspuns pentru un asemenea dispozitiv este de ordinul nanosecundelor. Varistorul are un timp de răspuns mult mai mare, de ordinul microsecundelor sau chiar zecilor de microsecunde. Rezistorul R este de 2.7 ohmi și o putere disipată de 2W - rolul ei este de a limita (nu de a întrerupe) curentul de defect prin varistor. Exact ca circuitul din Figura 1.a și această schemă suferă de lipsa de protecție în cazul perturbațiilor diferențiale (între L1 și L2). În cazul unei supratensiuni, nu există nici o protecție între L1 și L2 și modem-ul va fi distrus. Marele avantaj al acestei topologii este că în cazul unei supratensiuni, protecția va fi pregătită să-și facă datoria imediat după terminarea celei precedente, fără intervenția utilizatorului (probleme apar doar dacă se depășește energia maximă absorbită pentru care a fost proiectat circuitul de protecție). Datele statistice ale studiilor efectuate pe o perioadă de trei ani pe o rețea de 12 modem-uri de linie închiriată protejate cu circuite standard, arată ca din Tabelul 1.

Tabelul 1. Date statistice obținute cu modemuri de linie închiriată protejate standard
Table 1. Statistical data for standard protected leased line modems

	Relative value (%) Valoare relativă (%)
Number of damaged protection circuits / Numărul circuitelor de protecție avariate	12
Number of damaged modems / Numărul de modem-uri avariate	62
Number of damaged protection circuits and modems ? Numărul circuitelor de protecție și de modem-uri avariate	26

Se poate vedea clar că în marea majoritate ca cazurilor modemul a fost singura componentă care a avut de suferit ca urmare a unei supratensiuni. Există un procent mare de cazuri în care atât modem-ul cât și circuitul de protecție au fost distruse de o supratensiune. În fig.2 putem vedea imaginea unui modem de linie închiriată și circuitul de protecție după o descărcare - în acest caz atât modemul cât și protecția au fost distruse). Interesant de observat că în acest caz particular a fost utilizat și un circuit extern de protecție ca cel din Fig. 1.b.

surges is the gas discharger (GD) rated for 120V to 180V. The response time for such a standard device is in the order of nanoseconds of magnitude. The Metal Oxide Varistor has a response time much greater: microseconds or even tens of microseconds. The resistor R is a 2.7 ohms and 2 watts dissipated power - its main role is to limit (but not to interrupt) the discharge current over the MOV device. Like the circuit in Figure 1.a, this scheme suffers due to a lack of protection if the perturbation is differential (between Line 1 and Line 2). In the case of a surge, there is no protection between L1 and L2 and the modem will be damaged. The main advantage for this topology is in the case of a surge, the protection circuit will be ready to absorb a new one immediately after the end of the current one, without any user intervention (problems may arise only if the energy of the surge is much greater than the protection circuit is designed for). Statistical study made over a period of more than three years on a network with 12 leased line modems with standard protection circuits, shows us the results in Table 1.

We can clearly see that in most of the cases the modem is the only device affected by the surge. There is also a great percent of cases when both the modem and the protection circuit are damaged. In Figure 2 we can see the image of a leased line modem and the layout of the protection circuit after a surge - in this case both the modem and the protection where damaged). Interesting to mention here is, in this particular case, an external protection circuit like that in Figure 3 was present.

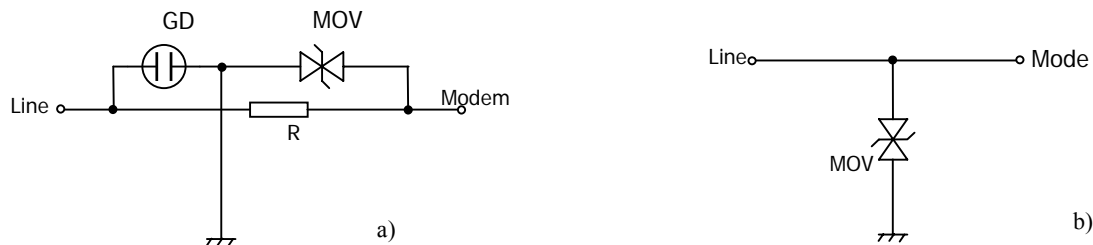
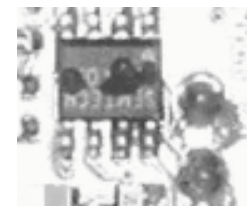
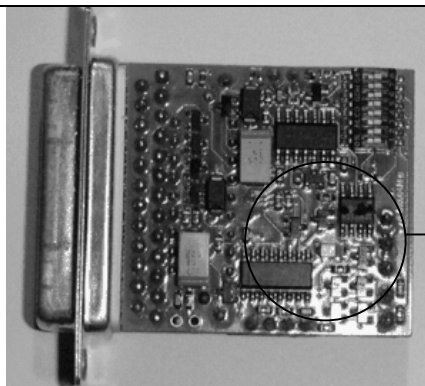


Fig. 1. Schema electrică a circuitului de protecție propus

Fig. 1. The electrical diagram of the proposed protection circuit



Detail of the damaged protection device

Fig. 2. Fotografia modemului de linie închiriată afectat de o descărcare atmosferică

Fig. 2. The photo of the leased-line modem affected by lightning

3. Noul circuit de protecție propus

După cum am menționat anterior, circuitele standard de protecție nu protejează în mod real modem-ul împotriva perturbațiilor de mod comun și nu oferă nici a protecție pentru perturbațiile diferențiale. Ideea a fost de a dezvolta un circuit de protecție complex dar în același timp și ieftin care să satisfacă atât cerințele impuse de [1], [2] și [3] dar să și protejeze modem-ul împotriva oricăror perturbații care ar putea apare la funcționarea în condiții reale.

După testarea mai multor configurații și o multitudinea de măsurători în teren, circuitul din Figura 3 a fost cel mai bun pentru satisfacerea țelului propus.

Circuitul de protecție complex are trei trepte la protecție împotriva supratensiunilor și trei împotriva supracurenților. Treptele de protecție împotriva supratensiunilor sunt constituite din descărcătorul cu gaz, un varistor și diode Zenner atât între L1 și L2 și legătura la pământ cât și între L1 și L2. Siguranțele Fuse 1 și Fuse 2 sunt ultrarapide cu un curent maxim de 150mA până la 250mA. RT1 ... RT4 sunt rezistoare cu caracteristică dependentă de temperatură a căror caracteristică este prezentată în Figura 4. Rezistența lor nominală la $t = 20^{\circ}\text{C}$ este de 1 ohm iar la 100°C ajunge la 180 ohmi. Protejarea are la bază o reacție negativă. În cazul unei supratensiuni, creșterea curentului prin dioda Zenner determină creșterea temperaturii RT. Odată cu creșterea temperaturii crește și valoarea rezistenței cu efect în scăderea curentului. RT3 și RT4 au fost introduse cu scopul de a limita curentul care trece prin circuitele de protecție ale modem-ului (dacă acestea există). Utilizarea diodelor Zenner este benefică pentru modem deoarece limitează supratensiunile care ajung la acesta la aproximativ 12 ... 15V, valoare mult mai mică decât în cazul circuitelor de protecție standard.

Fotografia circuitului este prezentată în Figura 5.

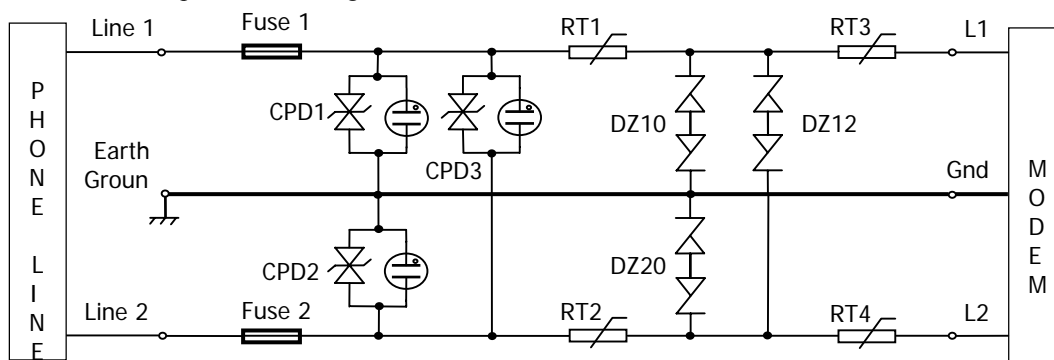


Fig. 3. Schema electrică a circuitului de protecție propus

Fig. 3. The electrical diagram of the proposed protection circuit

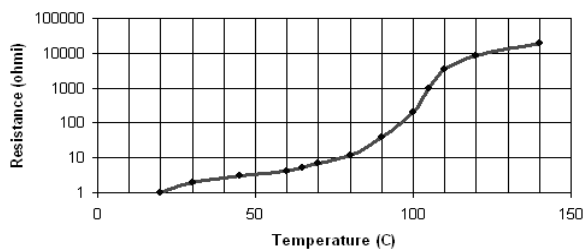


Fig. 4. Caracteristica măsurată rezistență - temperatură a rezistorului termic de protecție

Fig. 4. The measured resistance - temperature characteristic of the thermal protection resistor

3. The new proposed protection circuit

As stated above, the standard protection circuit does not really protect the modem from common mode perturbations and do not protect it at all from differential perturbations. The point was to develop a complex but a cheap protection circuit to satisfy the conditions imposed in [1], [2] and [3] and to protect the modem against all possible perturbations that may appear in real-life topologies.

After many configurations tested and a lot of field measurements, the circuit in Figure 3 was the best for the target we had.

The complex protection circuit has three overvoltage and three overcurrent protection stages. The overvoltage stages consist of a gas discharger, a metal oxide varistor and a Zenner diode for both L1 and L2 to ground and between L1 and L2. Fuse 1 and Fuse 2 are fast-tripping with a rated current of 150 mA to 250 mA. RT1 ... RT4 are thermal dependant resistors, with the characteristic presented in Figure 4. Their nominal resistance at $t=20^{\circ}\text{C}$ is about 1 ohm and for around 100°C is 180 ohms. The principle of protection is based on a negative feedback. In the case of a surge, the current in the Zenner diodes determine the raising of the RT temperature. As the temperature raises, the resistance raises and the higher temperature determine the lowering of the current. RT3 and RT4 are present to limit the current passing through the protection circuit from the modem (if it is present). Using Zenner diodes is benefic for the modem because the overvoltages stressing it are now around 12 ... 15 volts, a value much lower than with standard protection.

The layout of the circuit is presented in Figure 5.

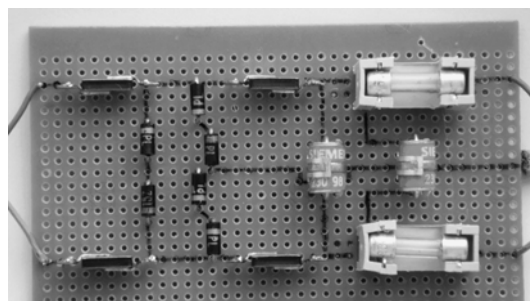


Fig. 5. Fotografia prototipului circuitului de protecție propus

For comparing results obtained from real-life field tests, we present Table 2. with the same categories of defects as in Table 1:

Pentru a compara rezultatele obținute după testările în condiții reale, prezentăm Tabelul 2, cu aceleași categorii de defecte ca în Tabelul 1:

Tabelul. 2. Date statistice obținute cu modemuri de linie închiriată protejate cu circuitul propus
Table. 2. Statistical data for leased line modems protected with the new proposed circuit

	Relative value (%) Valoare relativă (%)
Number of damaged protection circuits / Numărul circuitelor de protecție avariate	93
Number of damaged modems / Numărul de modem-uri avariate	0
Number of damaged protection circuits and modems ? Numărul circuitelor de protecție și de modem-uri avariate	7

În 7 procente din cazuri atât circuitul de protecție, siguranțele cât și modem-ul au fost distruse de supratensiuni. Aceste cazuri trebuie analizate în continuare, cea mai probabilă cauză a defectării fiind perturbațiile care vin din sensul dinspre interfața serială spre modem (prin carcasa calculatului și interfața RS232C).

Putem observa un procent mare de cazuri în care circuitul de protecție a fost distrus - singura distrugere a fost arderea siguranțelor. În nici un caz modemul nu a fost distrus iar circuitul de protecție a rămas intact, demonstrând în acest fel că rolul de protecție a fost atins.

4. Concluzii

Circuitul descris în acest articol este cel mai potrivit pentru protejarea modem-urilor (atât cele de linie închiriată și, cu mici modificări, a celor pentru linii comutate). Circuitul asigură trei nivele de protecție, atât pentru perturbațiile de mod comun cât și pentru cele diferențiale. Am combinat o variantă "standard" de protecție bazată pe un descărcător cu gaz și un varistor cu un circuit de protecție de joasă tensiune realizat cu diode Zenner și rezistoare termice.

Deoarece majoritatea soluțiilor actuale nu includ siguranțe fuzibile, aceasta pare să fie principala cauză pentru care acele circuite nu reușesc să protejeze modem-ul în condiții reale de funcționare. Circuitul nostru folosește siguranțe fuzibile ultrarapide dimensionate pentru curentul maxim care este necesar în funcționare (150 până la 250mA în cazul nostru). În ciuda avantajelor arătate până acum, noul circuit de protecție va întrerupe linia de comunicație în cazul unei supratensiuni (aceasta înseamnă că un operator uman va trebui să înlocuiască siguranțele după fiecare asemenea eveniment). Dacă vom compara distrugerile posibile în vechea variantă - unde costul minim în cazul unui defect era chiar prețul modem-ului, rezultă că soluția găsită este cea mai bună la acest moment.

Pentru viitor, ne propunem căutarea unei soluții mai eficiente, care să nu implice prezența operatorului uman care să restabilească funcționarea liniei în cazul unei supratensiuni și a unei soluții care să elimine cazurile în care atât modemul cât și circuitul de protecție sunt distruse.

Soluția prezentată aici este utilă firmelor care au comunicații pe linii închiriate (companiile de electricitate, gaz și alte utilități), furnizorilor de acces Internet cât și celor care au comunicații prin interfețe multi-seriale și modem-uri.

Bibliografie (References)

1. *** : ITU K.41-1998 - *Resistibility of internal interfaces of telecommunication centres to surge overvoltages. (Protejarea interfețelor de comunicație din centrele de telecomunicații împotriva supratensiunilor)*, ITU International Telecommunication Union, 1998
2. *** : IEC 61000-4-5: *Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-5: Testing and measurement techniques - Surge immunity test. (Teste și măsurători - Testarea imunității la supratensiuni)*, IEC International Electrotechnical Commission, 2001
3. *** : IEEE C62.41-1991: *Low Voltage AC Power Circuits. (Circuite de curent alternativ de joasă tensiune)*, IEEE, 1991
4. *** : MODEL 1005 and 1005S - *Asynchronous Carrier Sense Short Range Modem - User Manual. (Modelul 1005 și 1005S - Modem asincron cu purtătoare pentru distanțe scurte)*, Patton Electronics Company, 1996
5. *** : *Surge Protectors Catalog. (Catalogul protecțiilor la supra-tensiuni)*, Patton Electronics Company, 2003
6. Degauque P., Hamelin J.: *Compatibilité electromagnétique - bruits et perturbations radioélectriques. (Compatibilitate electromagnetică - zgomote și perturbații radioelectrice)*, Edition Dunod, Paris, 1990.

In 7 percent of the cases, both the protection circuit (and the fuses) and the modem itself were damaged. These cases are still under investigation, the most probable cause was the surge that came in the direction of the protection device from the modem (via the computer chassis and the RS232C serial interfacing circuitry).

We can observe the large percent of cases where the protection circuits were damaged - the only damage was the blown fuses. In no cases the modem was damaged and the protection circuit survived, showing that the protection role was efficient.

4. Conclusions

The circuit described in this paper is the best for protecting modems (both on leased and - with minor modifications, on PSTN lines). The circuit provides three levels of protection, for both single-mode and common-mode perturbations. We have combined a "standard" protection version based on a gas arrester and a metal-oxide varistor with a complex low voltage protection circuit made with Zenner diodes and temperature dependant resistors.

Because most of today solutions does not include any fuses, this is the main cause those circuits fails to protect the modem in real-life conditions. Our circuit use ultra speed fuses, rated at the maximum current that can be useful for the user (in our case was 150 to 250mA). Despite the benefits shown above, our protection circuit will interrupt the line in the case of a surge (that means a human operator is needed to change the fuses at every such event). If we compare the possible damages with the old version - where the minimum cost was the price of the modem, we may conclude this is the best solution for the problem.

For the future, we may search for a more reliable solution that not implies a human operator to restart the circuit in the event a surge and a solution to eliminate the cases when both the modem and the protection circuit are damaged.

The solution we propose here is well suited for any company having leased-line communication (energy companies, gas and other utilities companies), companies providing Internet services and for multi-serial communication interfaces with modems.