



Elektronikus áramkörök kommunikációs portjainak túlfeszültség-védelme TVS diódával

Az ESD, EFT, Surge és elsősorban autóiipari alkalmazásokban a „Load Dump” jellegű tranziensek olyan potenciális fenyegetést jelentenek az elektronikai eszközök I/O portjai számára, ami elleni védekezésről az áramkör tervezésekor feltétlenül intézkedni kell, mindemellett az alkalmazott megoldás nem befolyásolhatja az átviteli sebességet. A TVS diódákról szóló általános ismertetés mellett szeretnénk néhány alkalmazási példán keresztül bemutatni a tranziens szupresszor diódával való védekezés alapjait.

Túlfeszültség elleni védelem TVS diódával

Az elektronikai eszközök a külvilág felé I/O portokon keresztül kommunikálnak, melyek megfelelő védelem hiányában támadási felületet jelentenek az elektrosztatikus kisülés (ESD), az elektronikus gyors tranziens (EFT) vagy surge jellegű túlfeszültségek számára, potenciális fenyegetést jelentve a belső áramköri elemekre. Az alkalmazott túlfeszültségvédő eszközök ráadásul nem csökkenthetik a port adatátviteli sebességét. A tradicionális, egyszerű kondenzátoros védelem, és nagy kapacitással rendelkező (nagy méretű) túlfeszültségvédő eszközök a nagy frekvencia miatt nem használhatók, mert az adatvonalak kapacitását minimális szinten kell tartani, ellenkező esetben a védelmi eszköz kapacitív impedanciája, ami a frekvencia reciprokával arányos ($Z_C \sim 1/2\pi fC$) olyan kis értékű lesz, hogy az jelvesztéshez vezet. Ezért olyan kisméretű, kis kapacitású, de nagy energia elnyerésére alkalmas és pontos megszólalási feszültségű eszköz alkalmazására van szükség, ami egyaránt alkalmas a különböző túlfeszültség típusok vonatkozásában a szabványok előírásainak betartására és emellett a NYÁK infrastruktúra költségét is alacsony szinten tartja. Egy népszerű

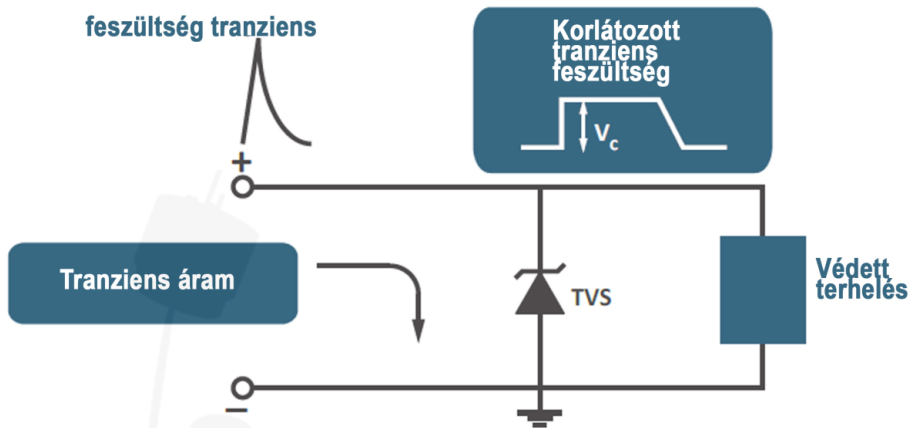
megoldás erre a TVS dióda használata. A félvezető szilícium TVS diódák a Zener diódákhoz hasonló, de azokénál nagyobb keresztmetszetű P/N átmenettel rendelkeznek, melynek mérete arányos a kezelni kívánt teljesítménnyel.

Ezek az eszközök olyan „clamping” eszközök, melyek alacsony impedanciás „Avalanche” P/N átmenetük megnyitásával a feszültségtűskéket a mögöttes elektronika által elviselhető mértékű szintre korlátozzák.

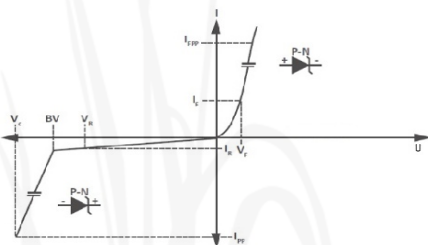
A TVS dióda feszültségkorlátozó eszköz

TVS dióda U-I karakterisztikája nagyon hasonlít a Zener diódáéra, az alapvető különbség az, hogy míg a Zener dióda feszültség-stabilizálásra, addig a TVS dióda kifejezetten tranziens túlfeszültség elleni védelemre lett tervezve, hiszen a túláramot azonnal söntöli és a védendő áramkörre jutó maradék áramot elviselhető szintre korlátozza.

Ahhoz, hogy hosszabb lefolyású tranziensek is elviselhetők legyenek a védőeszköz számára, a mérnökök választhatnak nagyobb méretű tokozást, mely jobban disszipálja a keletkező hőt, mert chip mérettől egészen nagy



Egyirányú TVS dióda karakterisztika



modulokig találhatunk TVS diódát a gyártók kínálatában. Ugyan kisebb hibaáram engedhető meg a TVS dióda esetén, mint a fém-oxid varisztoroknál, a maximális feszültség és áramértékek több eszköz soros, vagy párhuzamos kapcsolásával tetszőlegesen növelhető. A mai TVS dióda lehetővé teszi a

Viszonylag nagy surge jellegű áramok elvezetését. A TVS dióda meghibásodásakor rövidzárba kerül.

A félvezetős technológia miatt működése rendkívül gyors és precíz, mert a válaszügy az elektronok sebességével arányos. Mivel a helyesen megválasztott túlfeszültség védő normál üzemi körülmények közt láthatatlan kell, hogy legyen, az esetleges nagy adatátviteli frekvenciákon ultra alacsony - pF nagyságrendű - kapacitású TVS diódákra van szükség, ilyen például a ProTek Devices GBLC08CLC eszköze, melynek vonali kapacitása mindössze 0.4 pF. A szupresszor dióda unidirekcionális szervezésben DC vonalokhoz éppúgy használható, mint bidirekcionális változatokban váltakozó áramú applikációkhoz.

Szemben a fém-oxid varisztorokkal (MOV), melyek csak kezdetben, az első néhány megszólalásig mutatnak kielégítő szivárgási viselkedést a TVSD nem öregszik, a szivárgási áram karakterisztikája kiváló marad az idő előrehaladtával is.

Válaszideje a nano-szekundum nagyságrendbe esik, és működését alacsony clamping faktor ($V_{clamping}/V_{Standoff} \sim 1.33$) jellemzi.

Túlfeszültségtípusok és szabványok - ESD, Surge, Load Dump

Az IEC 61000-4-2 szabvány definiálja az emberi test által keltett **ESD** esemény lefolyását, és feszültség tekintetében négy szintet különböztet meg, egészen 8kV kontakt és 15kV levegő kisülés értékig. A szabvány célja, hogy a tervezőket segítse az elegendő mértékű védelem kiválasztásában.

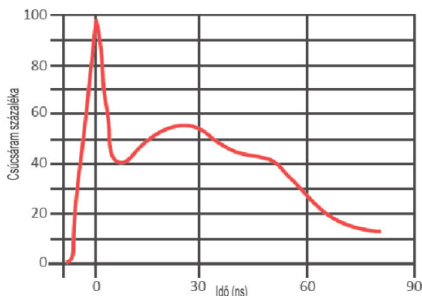
Az emberi test modell alapján definiált tranziens lefolyása az ábra szerinti, a felfutás 1 ns alatt és a lefutás 60 ns körüli időtartamot vesz igénybe.

Ipari kommunikációs portok áttekintése - működési sebességük és védelemre használható TVSD maximális kapacitás értékei

| Adatátviteli sebességek | | |
|-------------------------|-----------------|--------------|
| Port jellege | Sebesség Mbit/S | Kapacitás pF |
| RS-232 | 0.20 | < 50 |
| T1 | 1.544 | < 30 |
| E2 | 2.048 | |
| I2C | 3.4 | |
| Ethernet | 10 | < 20 |
| USB 1.1 | 12 | |
| E3 | 34.368 | |
| RS-485 | 35 | |
| T3 | 44.736 | < 5 |
| Fast Ethernet | 100 | |
| T5 | 400.352 | < 3 |
| USB 2.0 | 480 | |
| E5 | 565.148 | |
| IEEE-1394b | 786.432 | |
| GigabitE | 1000 | |
| DVI | 3960 | < 1 |
| USB 3.0 | 5000 | |
| DisplayPort | 5400 | |
| SATA 3.0 | 6000 | |
| HDMI 1.3 | 10200 | |
| HDMI 2.0 | 18000 | |

| Level | Contact Voltage (BV) | Air Discharge Voltage (kV) | Peak Contact Current (A) | Contact Current @30ns (A) | Contact Current @60ns (A) |
|---------|----------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Level 1 | 2 | 2 | 7.5 | 4 | 2 |
| Level 2 | 4 | 4 | 15 | 8 | 4 |
| Level 3 | 6 | 8 | 22.5 | 12 | 6 |
| Level 4 | 8 | 15 | 30 | 16 | 8 |

Az ESD szabványban rögzített jelalakja



Vizsgálatokon megbukott készülékek teveinek áttekintése és a mérnökökkel való megbeszéléseink során sok esetben találkozunk azzal a jelenséggel, hogy a tervezőmérnök nem gondoskodott a teljes megoldásra vonatkozó - az előírt szabványnak megfelelő - ESD védelemről, mert az gondolta, hogy elegendő a kiválasztott IC adatlapja szerinti beépített védelem, további védekezésre nincsen szükség. A félvezetőgyártók gyakran csak 1-es szintű (Level 1) védelmet (1-2 kV) építenek be az eszközeikbe a gyártás során fellépő elektro-sztatikus feltöltődés hatásának való kitétség minimalizálására, azonban a valós körülmények közt fellépő ESD impulzus feszültségmaximuma akár 15kV is lehet, ezért a beépített védelmet csak

másodlagos szintnek szabad tekinteni és szükség van egy primer védelemre is 8kV direkt érintéses (kontakt) és 15kV levegő kisülés útján beérkező sztatikus kisülés impulzusok ellen.

Az ESD védelem kiválasztásánál figyelembe kell venni a következőket:

- Az eszközre jellemző trigger feszültség, mely alatt a védelem láthatatlan
- A védőeszköz ún. „overshoot” feszültsége, ahol az megszólal
- A feszültségkorlát mértéke (clamping voltage), melyre a védőeszköz a kimenetén megjelenő feszültséget korlátozza

A **surge** az ESD-nél nagyságrendekkel hosszabb (mikroszekundum nagyságrendű) és nagyobb energiájú zavar, melyet általában villámütés, vagy kapcsolási tranziens okozhat. A villám okozta túlfeszültség a kültéri elektronikák legkomolyabb ellensége a maga 20 kA csúcsáramával, mindemellett intenzíven változó elektromos és mágneses tereket kelt, mely a közeli adat- és tápvezetékbe jelentős feszültséget indukálhat. Ez az

indukált feszültség aztán a kapcsolt készülékekben kárt tehet. Általában a hatékony védekezéshez kétszintű védelemre van szükség, a primer rendszer „crowbar” jellegű túlfeszültségvédelmet tartalmaz, ezek az eszközök az energia nagy részét magukon keresztül söntölik a föld felé, még a második vonalban „clamping” eszközökkel lehet védekezni az ájtató villám vagy kapcsolás okozta túlfeszültség ellen. Ebben a második vonalban, a beltéri eszközök közelében van létjogosultsága a TVS alapú védelmeknek.

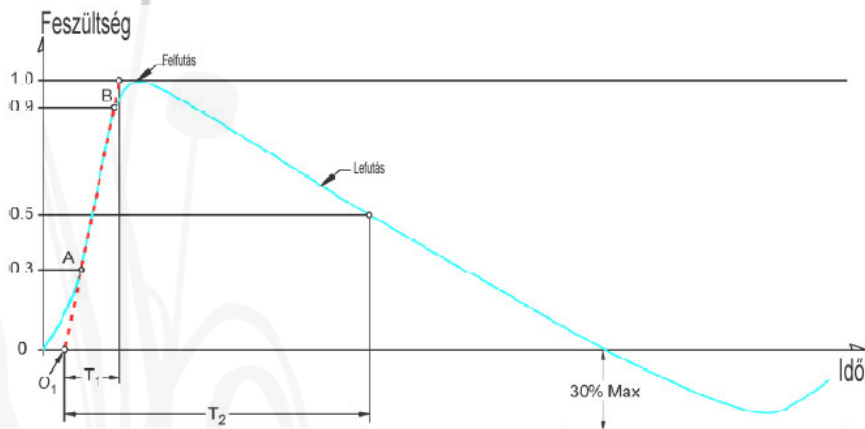
A szabványok szerint a primer szakaszban olyan eszközöket kell választani, melyek az 5kV-nál nagyobb feszültséget és a TSS esetén 250A, GDT esetén 10-20 kA surge áramot is el képesek viselni.

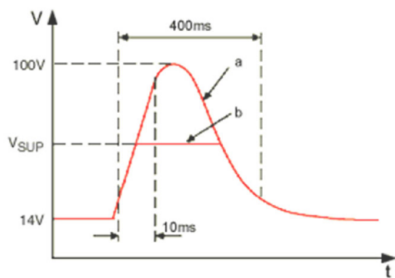
A második vonalban használt TVSD a gyors válaszideje és az alacsony „clamping” feszültsége miatt hatékonyan csökkenti a védendő készülék által

elviselhető szintre a primer védelmen ájtató tranzienszt, ezzel kompenzálva a GDT nagy megszólalási feszültségküszöbjét. A vonatkozó normák és előírások szerint a másodlagos védelem akár 1500 V feszültséget és 100A (8/20 μ s, 10/1000 μ s és 10/700 μ s hullámformájú) „surge” áramot kell, hogy elviseljen..

A harmadik kritikus túlfeszültség fajta - az úgynevezett **Load dump** - általában úgy keletkezik, hogy nagy induktivitású forrásról a terhelést hirtelen lekapcsolják. Jellemző esete ennek, amikor a gépjármű akkumulátorát véletlenül hirtelen lekapcsoljuk a generátorról, miközben az töltődik. A tekercsekben felhalmozódott energia hosszú, általában milliszekundum nagyságrendű tranziens túlfeszültséget okoz, melyet a felfutás után lassú lefutás és nagy energia jellemez. A jelszint elérheti a 174 V-ot és akár 400 ms is lehet a lefutás ideje.

A gépjármű-elektronika tervezők jól





ismerik az ISO 16750 szabványt, mely a közúti gépjárművek elektronikai berendezéseinek vizsgálatát írja le. Az ISO 16750-2 ennek kiegészítése, mely 2012 óta hatályos és a fenti gépjárművek számára potenciálisan veszélyes környezeti hatásokkal foglalkozik, valamint meghatározza a szükséges ellenőrzési tesztek és javaslatokat tesz az egységek beépítési helyére a járműben. A szabványban foglaltak szerint a túlfeszültség mértéke akár 202 V és lefolyása 400 ms is lehet. Feltételezve, hogy a soros ellenállás értéke 1~2 Ohm, a fellépő surge-áram akár meghaladhatja az 50 Ampert 350 ms hosszan, ezzel a tervezőknek tisztában kell lenniük. A szabvány előírásainak való megfeleléshez 10 impulzusból álló percnként ismételt tesztet kell kiállni a Load Dump elleni védelemnek, úgy, hogy közben ekkora áramot kell tudni kezelni anélkül, hogy az ellenállás változna (drift) a vonalon. A védekezés egyik lehetséges módja az automatikus kapcsolás, a tranziens megjelenésekor a védelem meghatározott időre lekapcsolja a DC-DC konvertert és az egyéb mögöttes

elektronika bemenetéről a feszültséget, majd fix késleltetéssel a tranziens feltételezett lefutása után visszakapcsolja azt. Ez a soros Load Dump védelem általában precíziós programozható feszültség referenciát használ a pontos leválasztáshoz. Egy ilyen elektronika általában számos komponensből áll és bonyolult felépítésű. Ha lenne olyan védekezés amely a felszabaduló energiát képes elnyelni, akkor lényegesen egyszerűsödne a feladat. A ProTek Devices a tápfeszültség félvezető tranziens szupresszor diódával való söntölése útján ad választ erre a kihívásra, olyan diszkrét komponensalkotott, mely – az ISO 16750-1 előírásainak megfelelően - képes kezelni tíz egymást követő alkalommal a 350-400 ms hosszan tartó 30-60A nagyságú surge áramot tíz percen keresztül.

Ez a diszkrét TVS diódás Load Dump elleni védelem jelentős előnyökkel bír:

- Egyszerűsített áramkör – a korábbi 16 komponens egy diszkrét alkatrészsel helyettesíthető.
- Alacsony indulási költségek – rövidebb BOM, alacsonyabb gyártásindítási költségek
- Kisebb nyomtatott áramköri lap –DO218AB tokozás
- Alacsonyabb szállítási határidő, mert csak egy terméket kell beszerezni
- Kiváló MTBF kalkulálható: az egyetlen DO218AB tokozású alkatrész

sokkal kevesebb hibalehetőséget jelent

- A gyártási költségek a kevésbé bonyolult testállomás szükségessége miatt is csökkenthetők



A következő táblázatban összefoglaltuk az elektronika egyik legfontosabb területén, a járműelektronikában előforduló transziens túlfeszültségek

jellemzőit, az előfordulásuk gyakoriságát és legfontosabb előidéző okait, hogy áttekintést adjunk az áramkörtervezéskor figyelembe venni szükséges feladatokról.

Adatvonalak túlfeszültség védelme

A tápegységekben megtalálható nagyszámú induktív és kapacitív passzív komponens jelenléte miatt ezek az eszközök általában immunisak az ESD-re, a tápvonalakat surge és load dump ellen szokták védeni. Az adatvonalakon alkalmazott túlfeszültségvédő eszközök kapacitása azonban komoly problémát jelent magas baud rate esetén. A soros ellenállás a terhelés kapacitásával együtt alkotja ez első szűrőt, mely lassítja a jel fel és lefutását. A hatásos ellenállás csökkentése lehetséges a réz

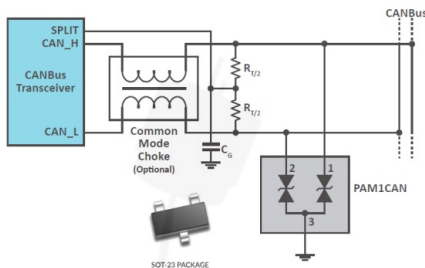
Jármű-elektronikában előforduló transziensek

| Időtartama | Legfőbb oka | Feszültség-amplitúdó | Energia | Gyakoriság |
|---------------|---------------------------------------|----------------------|---------|---------------------|
| 200–400 ms | Load Dump | < 125 V | > 10 J | Ritka |
| Állandó | Hibás feszültség szabályzó | 18 V | | Ritka |
| < 320 μ s | Induktív terhelés kapcsolása | 80 V–300 V | < 1 J | Gyakori |
| 200 ms | Generátor lekapcsolása | –100 V–40 V | < 1 J | Minden leállításkor |
| 90 ms | Indítási impulzus, akku lekapcsolódik | < 75 V | < 0,5 J | < 500 Hz, ritka |
| 1 ms | Kábelköteg- (induktív) átcsatolás | < 200 V | < 1 J | Gyakori |
| < 60 ns | ESD | < 15 kV | < 10 mJ | Ritka |

keresztmetszetek növelésével, de a kapacitás csökkentése jelenti az igazi megoldást a nagy sebességek eléréséhez.

CAN busz védelme TVS dióddal

A CAN-Busz egy üzenetalapú soros buszrendszer, mely elsősorban jármű-, ipari és orvoselektronikai alkalmazásokhoz került kifejlesztésre. Adatátviteli sebessége elérheti az 1Mbit értéket, általában 40m alatti hosszúságú fizikai hálózaton. A ProTEK integrált TVS diódás túlfeszültségvédelmi megoldást fejlesztett ki ESD és a kapcsolási nagyfeszültségű transziensek elleni védekezésre. A PAM1CAN eszköz mindkét adatvonal védelmét ellátja.



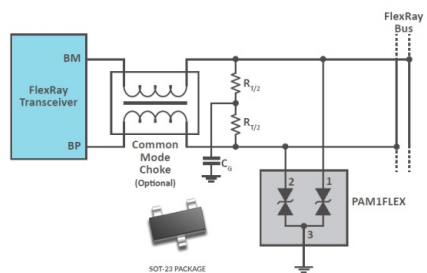
Jellemzői :

- IEC 61000-4-2 $\pm 8\text{kV}$ érintés, $\pm 15\text{kV}$ levegő kisülés
- IEC 61000-4-4 EFT 40A, 5/50ns
- IEC 61000-4-5 Surge másodlagos villámlás, 3A @ 8/20 μs
- AEC-Q101 tanúsított
- 1 x PAM1CAN SOT-23 tokozás
- Stand-Off feszültség V_{WM} : 24 V

- Letörési feszültség BV_{MIN} : 25.4 V
- $V_C @ I_P$: 70V @ 3A
- Szivárgási áram I_R : 0.05 μA
- Max. kapacitás: 17pF

FlexRay busz védelme TVS dióddal

A FlexRay-Busz két egymástól független csatornája nagyfokú hibatűréssel rendelkező nagy sebességű, szinkron és aszinkron átviteli módot is támogató rendszert alkot, mely csatornánként 10Mb/s sáv szélességgel rendelkezik, a CAN busz sebességének tízszeresét (két csatorna esetén húszszorosát) elérő sebességgel kommunikál. Védekezni általában ESD és rövidzár ellen szükséges.



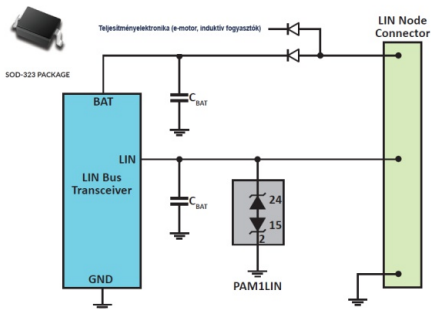
Jellemzői :

- IEC 61000-4-2 $\pm 8\text{kV}$ érintés, $\pm 15\text{kV}$ levegő kisülés
- IEC 61000-4-4 EFT 40A, 5/50ns
- IEC 61000-4-5 Surge másodlagos villámlás, 3A @ 8/20 μs
- AEC-Q101 tanúsított
- 1 x PAM1FLEX SOT-23 tokozás

- Stand-Off feszültség V_{WM} : 24 V
- Letörési feszültség BV_{MIN} : 25.4V
- $V_C @ I_p$: 70V @ 3A
- Szivárgási áram IR: 0.05 μ A
- Max. kapacitás: 11pF

LIN busz védelme TVS diódával

A LIN busz a jármű-elektronikában az egyes részrendszerek közti soros hálózati kommunikációra használt egyvezetékes, maximum 40 méteres összhosszúságú és 19,2 vagy 20 kbit/sec sebességű master – slave hálózat (max 16 pont) Védekezní általában ESD és rövidzár ellen szükséges.



Jellemzői :

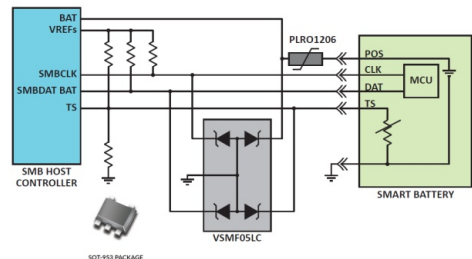
- IEC 61000-4-2 $\pm 8kV$ érintés, $\pm 15kV$ levegő kisülés
- IEC 61000-4-4 EFT 40A, 5/50ns
- IEC 61000-4-5 Surge másodlagos villámlás, 24A @ 8/20 μ s
- AEC-Q101 tanúsított
- 1 x PAM1LIN SOT-323 tokozás
- Stand-Off feszültség V_{WM} : 15 & 24 V

- Letörési feszültség BV_{MIN} : 17.2 & 25.5V
- $V_C @ I_p$: 44V @ 5A & 70V @ 3A
- Szivárgási áram IR: 0.001 μ A
- Max. kapacitás: 17pF

Tápvonalak védelme

Tápvonalak védelme esetén nincs szükség extrém kis vonali kapacitásértékű TVS diódák alkalmazására, itt inkább a nagy energiájú és esetenként hosszú lefolyású tranziensek jelentik a kihívást a komponesfejlesztők számára.

Lítium-Ion akkumulátoros rendszerek védelme TVS diódával



Az intelligens lítium-ion akkumulátor-rendszerek túláram-védelmére és a vezérlő chip ESD védelmére fejlesztette ki a ProTEK a VSMF05LC és a PLRO1206 eszközöket. Mivel eredendően üzemeni csatlakoztatás jellemzi az ilyen rendszereket, ESD, rövidzár és hibás külső eszköz használatából eredő tranziensek elleni védekezésre van szükség.

Jellemzői :

- IEC 61000-4-2 $\pm 8\text{kV}$ érintés, $\pm 15\text{kV}$ levegő kisülés
- IEC 61000-4-4 EFT 40A, 5/50ns
- IEC 61000-4-5 Surge másodlagos villámlás, 2A @ 8/20 μs
- 1 x VSMF05LC SOT-953 tokozás
- Stand-Off feszültség V_{WM} : 5 V
- Letörési feszültség BV_{MIN} : 6 V
- VC @ IP: 12V @ 2A
- Szivárgási áram IR: 1 μA
- Tip. kapacitás: 9pF

Load dump elleni védekezés TVS dióddal

A gépjármű elektronikát tervező mérnökök megszokásból általában névleges soros R_1 értéket (2 Ohm 12 V és 4 Ohm 24 V esetén), valamint alacsony t_d időbeli lefolyást választanak (40ms 12 V és 100ms 24 V esetén) a túlfeszültség

védelem méretezésekor, a Load Dump tranziens hatására fellépő surge áram korlátozására. Sok esetben alacsonyabb teljesítményre specifikált SMCJ (1.5kW) vagy SMDJ (3kW) TVS eszközökkel operálnak, de a kérdés az, hogy ez vajon elegendően robusztus védelem a ma gépjárműjében is, ahol az elektronikai egységek száma megsokszorozódott?

A ProTek Devices PAM8 sorozata egyedülálló megoldást nyújt az ISO 16750-2 Load Dump teszt előírásainak megfelelő túlfeszültség védelemre, miközben a mai megoldásokhoz képest a lehető legalacsonyabb értéken (48.4 V-on) tartja a védendő vonalra jutó feszültséget. Megfelel az AEC-Q101 megbízhatósági szabványnak is. A sorozat 15 nagyteljesítményű TVS mátrixból áll, ezzel lefedi az ipar igényeit a 14-43 V záróirányú stand-off feszültség-tartományon. A RoHS és REACH elvárásainak megfelelő JEDEC



DO-218AB tokozásban, $T_j = 175^\circ\text{C}$ átmeneti hőmérsékletű TVS eszközök kaptak helyet, melyek így tökéletesen megfelelnek a nagy megbízhatóságot igénylő autóiipari feladatokra. Ez a diszkrét áramköri megoldás tökéletes Load Dump elleni védelmet nyújt és

emellett a gyártási költségek csökkenése útján további előnyökkel bír a vezető IC gyártók korábban ismertetett védelmi módszereivel szemben, elsősorban a helytakarékoság, és az áramköri lapok valós bekerülési költségének minimalizálása útján.

| ELECTRICAL CHARACTERISTICS PER LINE @ 25°C Unless Otherwise Specified | | | | | | | | |
|---|---|--|------|-----------------------------------|---|---|--|--|
| PART NUMBER (Note 1) | REVERSE STAND-OFF VOLTAGE V_{RWM} VOLTS | BREAKDOWN VOLTAGE $V_{(BR)}$ @ I_T VOLTS | | TEST CURRENT @ I_T mA | MAXIMUM CLAMPING VOLTAGE (Fig. 1) @ I_P V_C VOLTS | MAXIMUM REVERSE SURGE CURRENT @ I_{PP} AMPS | MAXIMUM REVERSE LEAKAGE CURRENT @ V_{RWM} I_R μA | MAXIMUM REVERSE LEAKAGE CURRENT @ V_{RWM} 175°C I_R μA |
| | | MIN | MAX | | | | | |
| PAM8S14A | 14.0 | 15.6 | 17.2 | 5.0 | 23.2 | 284 | 10 | 150 |
| PAM8S15A | 15.0 | 16.7 | 18.5 | 5.0 | 24.4 | 270 | 10 | 150 |
| PAM8S16A | 16.0 | 17.8 | 19.7 | 5.0 | 26.0 | 254 | 10 | 150 |
| PAM8S17A | 17.0 | 18.9 | 20.9 | 5.0 | 27.6 | 239 | 10 | 150 |
| PAM8S18A | 18.0 | 20.0 | 22.1 | 5.0 | 29.2 | 226 | 10 | 150 |
| PAM8S20A | 20.0 | 22.2 | 24.5 | 5.0 | 32.4 | 204 | 10 | 150 |
| PAM8S22A | 22.0 | 24.4 | 26.9 | 5.0 | 35.5 | 186 | 10 | 150 |
| PAM8S24A | 24.0 | 26.7 | 29.5 | 5.0 | 38.9 | 170 | 10 | 150 |
| PAM8S26A | 26.0 | 28.9 | 31.9 | 5.0 | 42.1 | 157 | 10 | 150 |
| PAM8S28A | 28.0 | 31.1 | 34.4 | 5.0 | 45.4 | 145 | 10 | 150 |
| PAM8S30A | 30.0 | 33.3 | 36.8 | 5.0 | 48.4 | 136 | 10 | 150 |
| PAM8S33A | 33.0 | 36.7 | 40.6 | 5.0 | 53.3 | 124 | 10 | 150 |
| PAM8S36A | 36.0 | 40.0 | 44.2 | 5.0 | 58.1 | 114 | 10 | 150 |
| PAM8S40A | 40.0 | 44.4 | 49.1 | 5.0 | 64.5 | 102 | 10 | 150 |
| PAM8S43A | 43.0 | 47.8 | 52.8 | 5.0 | 69.4 | 95.1 | 10 | 150 |

NOTES
1. Surge current waveform is defined as 10/100 μs waveform.

