

12 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA

Pod pojmem elektromagnetická kompatibilita rozumíme

- vyzařování elektromagnetické energie ze zařízení ven,
- odolnost zařízení proti pronikání vnějšího elektromagnetického rušení.

Údaje o povoleném **elektromagnetickém vyzařování** obsahuje norma ČSN EN 50081-1. Úroveň hladiny povoleného vyzařování závisí od druhu prostoru (bytové, obchodní, průmyslové...) v něm je přístroj užíván a na druhu přístroje. Mezní povolená úroveň je udávána na krytech přístrojů a na jejich přívodních napájecích svorkách v μV a je funkcí frekvence v pásmu 0,15 až 1000 MHz. V pásmu 0,15–30 MHz tyto meze omezují zároveň v přepočtu přípustný obsah harmonický frekvencí pulsních průběhů digitálních signálů, rozkladových kmitočtů monitorů a pracovních kmitočtů pulsních měničů ve zdrojích.

Odolnost zařízení **proti pronikání vnějšího elektromagnetického rušení** je předepsána normou ČSN EN 50081-2. Odolnost je posuzována údajem intensity přípustných elektrických a magnetických intenzit vnějších polí, kdy funkce zařízení ještě není narušena. Požadavek na odolnost závisí na typu zařízení. Testování probíhá signály přiváděnými na kryt přístroje, na vstupy, výstupy, zemní svorky a jiná uzlová místa přístroje nebo soustavy. Podle charakteru zařízení jsou používány signály sinusové nebo pulsní, elektrické nebo magnetické. Sinusové mohou být modulovány amplitudově nebo frekvenčně, pulsní mohou být periodické, opakované nebo jednorázové. Významná a náročná na odolnost přístroje je zkouška impulsy z rázového jiskrového generátoru. Tato zkouška je předepsána u řady elektronických zařízení pro získání osvědčení CE. Mnohdy zkouška jiskrovým rázovým generátorem i poškodí zařízení. Průchod touto přísnou zkouškou je často důvodem použití isolačních DC/DC měničů s extrémně nízkými vazebními kapacitami v napájecím obvodu zařízení a důvodem použití optoelektrického oddělení vstupů a výstupů zařízení, případně až vedení vstupních a výstupních signálů optickými kabely.

Problémem, který nezbytně musí řešit každý návrhář elektronických zařízení a kterou často musí řešit i uživatel, když z jednotlivých přístrojů sestavuje elektronický systém je **vnitřní kompatibilita přístrojů a obvodů uvnitř systému**. Úvahy o vnitřní kompatibilitě v elektrickém a elektronickém systému vedou k propojení bloků systému takovým způsobem a takovými technickými prostředky, aby vzájemná rušení mezi jednotlivými jeho bloky byla minimální. Samozřejmým požadavkem je, aby úroveň δ_i vzájemného rušení mezi bloky byla pod limitní úroveň rušení δ_H , která ještě umožňuje správnou funkci systému.

$$\delta_i < \delta_H$$

Rozdíl mezi úrovní vnitřního vzájemného rušení a limitní úrovní rušení kdy zařízení ještě funguje je šumová odolnost zařízení, je to úroveň vnějšího rušení do vyčerpání odolnosti zařízení proti rušení δ :

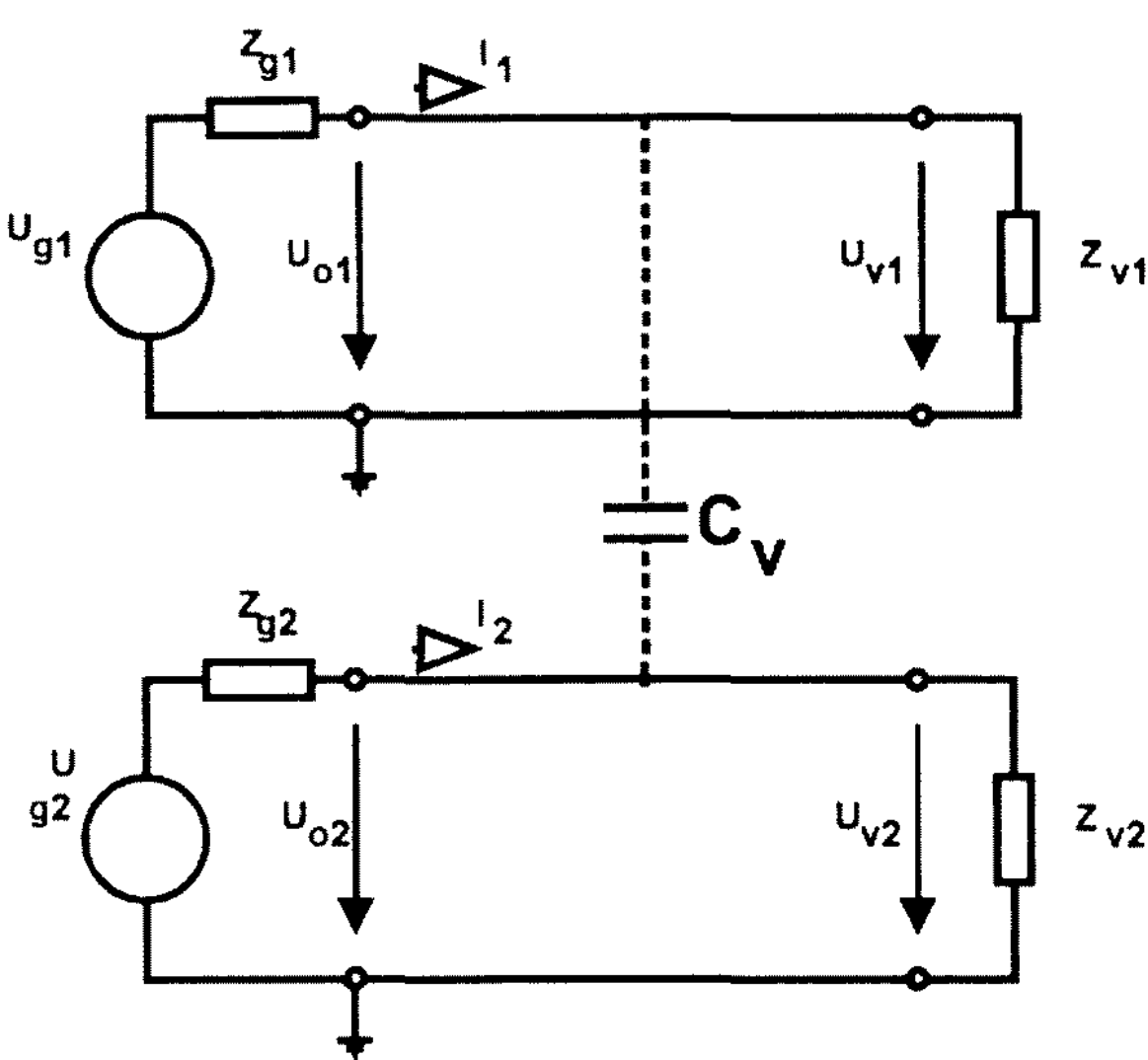
$$\delta = \delta_H - \delta_i$$

Používá se **následující metodika pro odstranění vnějšího i vnitřního rušení**:

Pro efektivní odstraňování rušení je třeba nejdříve identifikovat cestu jeho šíření, při návrhu nového zařízení je třeba možné cesty znát a předem je odstranit.

12.1 KAPACITNÍ RUŠENÍ

Kapacitní rušení je způsobeno průchodem kapacitního proudu přes parazitní kapacitu mezi vodičem nesoucím rušící signál a vodičem rušeným. Situaci znázorňuje obr. 12.1.



Obr. 12.1 Přenos rušení kapacitní cestou

$$\frac{\Delta u_{v2}}{R_{v2} + R_{g2}} + C_v \frac{\partial(\Delta u_{v2} - \Delta u_{v1})}{\partial t} = 0$$

protože

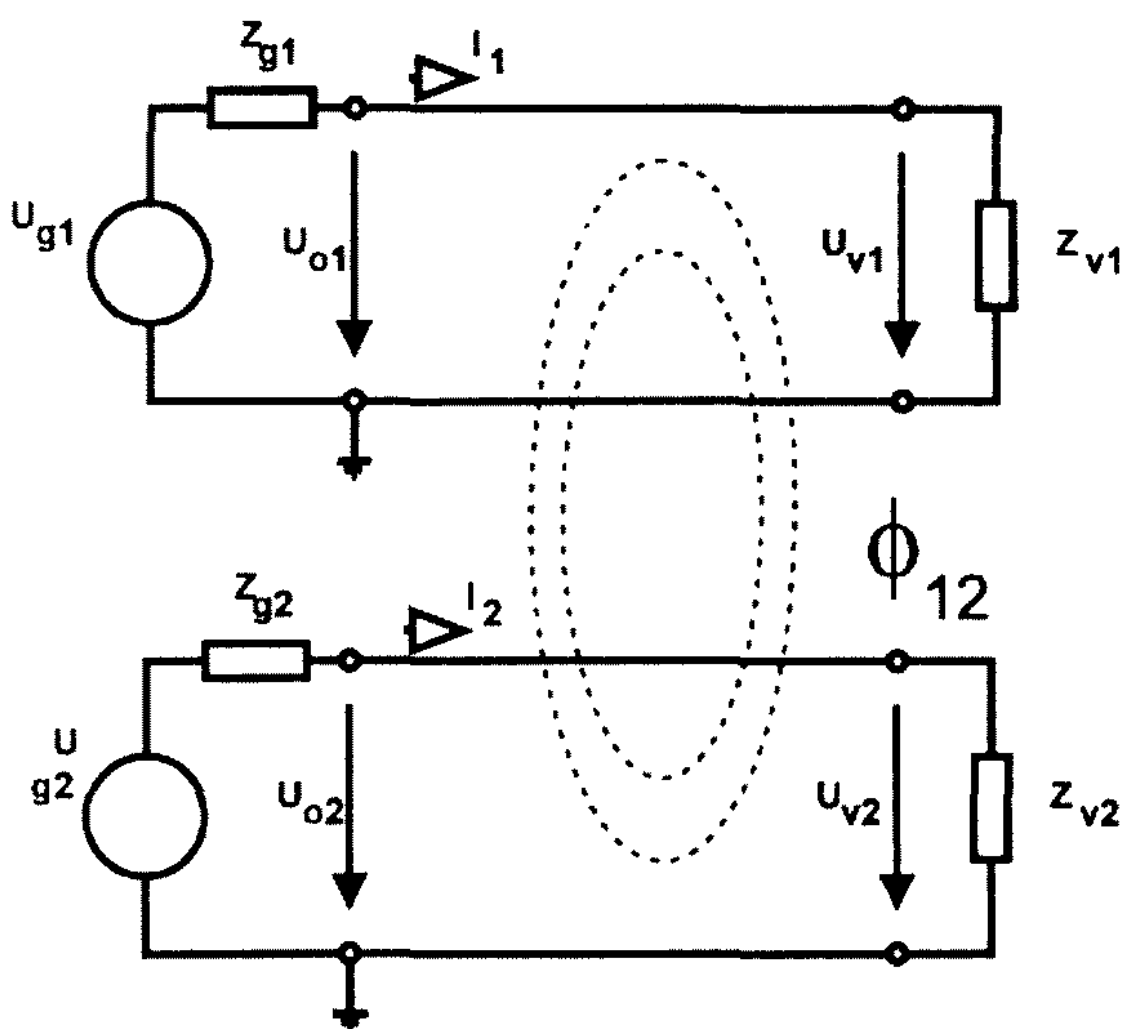
$$\Delta u_{v2} \ll \Delta u_{v1}$$

$$\Delta u_{v2} \approx (R_{v2} + R_{g2}) C_v \frac{\partial u_{v1}}{\partial t}$$

Šíření rušení kapacitní cestou je možno snadno rozpoznat podle toho, že k potlačení rušivého efektu stačí vložit mezi zdroj rušení a rušený objekt stínící folii, stačí tenká aluminiová folie (Alobal) a pozorovat průběh napětí na rušeném vodiči např. osciloskopem. Jestli rušení vložním folie zcela zmizí, je to důkazem, že se šíří jenom kapacitní složkou. K jeho odstranění stačí vložit mezi objekty stínící přepážku nebo

v případě rušení mezi vedeními použít stíněných vodičů. V případě, že stínění má odstranit jenom kapacitní cestu šíření rušivého signálu, postačí aby bylo spojeno se společným vodičem soustavy (zemněním) jen v jediném bodě. Kapacitní rušení je tedy jednoduše odstranitelné. Je ale často mylně považováno za jedinou složku rušení a to vede k tomu, že uživatelé někdy staví zbytečně okolo citlivých elektronických zařízení (např. EKG) nákladné Faradayovy klece (místnosti s vodivým povlakem stěn). Pokud neodstraní také ostatní cesty šíření rušení, které při neodborných instalacích často převládají, je odstranění pouze kapacitní cesty neúčinné.

12.2 INDUKČNÍ RUŠENÍ



Obr. 12.2 Přenos rušení indukční cestou

Indukční rušení je způsobeno tím, že rušící proud indukuje přes parazitní vzájemnou indukčnost mezi rušícím a rušeným vodičem napětí na rušený vodič. Situaci znázorňuje obr 12.2.

$$\Delta u_{v2} = M \frac{\partial i_1}{\partial t}$$

Šíření rušení indukční cestou je hůře rozpoznatelné a odstranitelné než rušení šířící se kapacitní cestou. Nereaguje na tenké stínící přepážky, ale na silnější magneticky vodivé přepážky reaguje. Matoucí je, že někdy se nevhodně vloženým magnetickým předmětem

úroveň rušení zvýší. Reaguje na změnu polohy vodičů, ale to kapacitní rušení také. K rozpoznání a zároveň i odstranění indukčního rušení je nejúčinnější změna uspořádání obvodu podle pravidla:

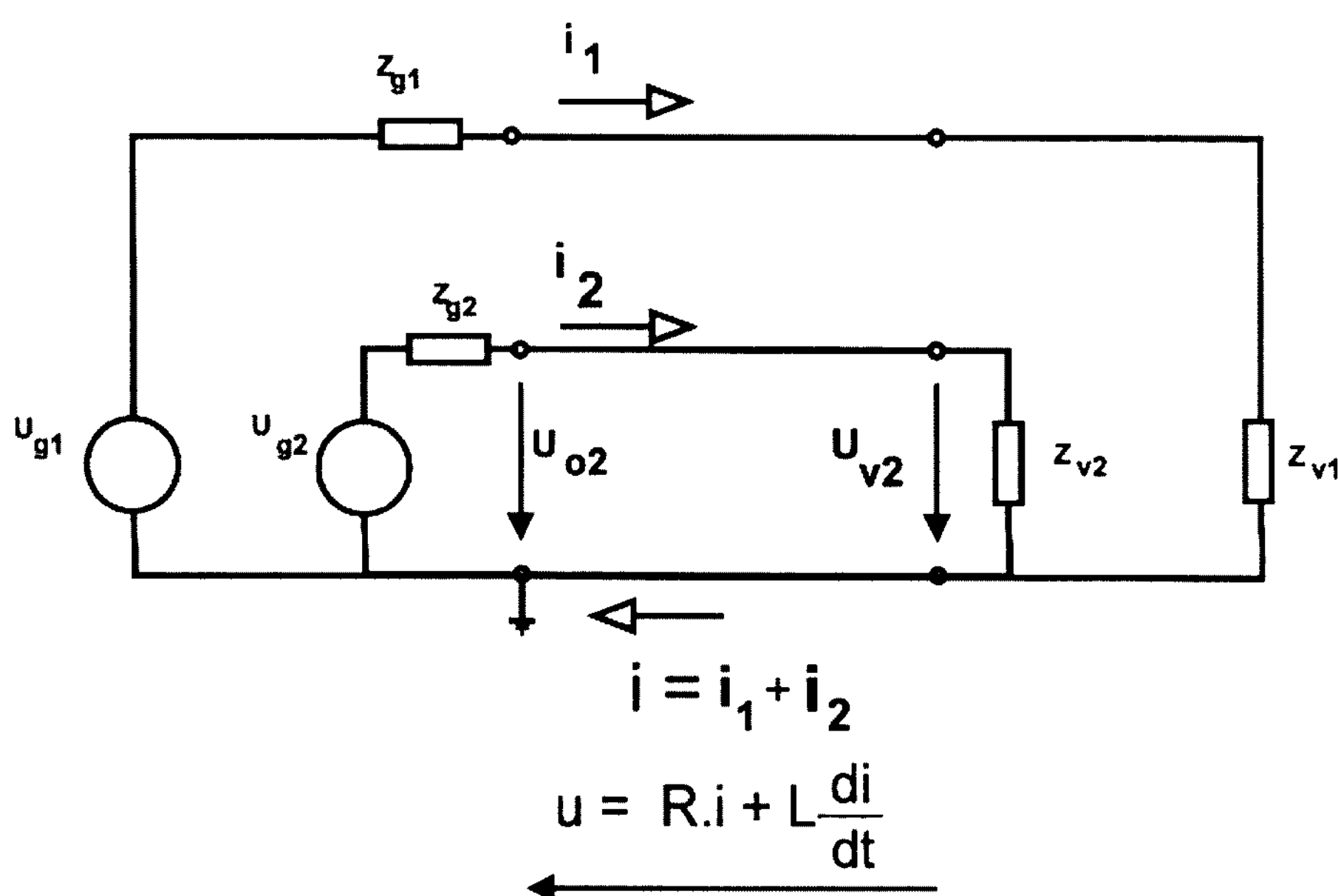
Aby nedocházelo ke vzájemnému ovlivňování obvodů je potřeba, aby netvořily indukční smyčky. To znamená, aby plocha obklopená vodiči obvodu byla co nejmenší, nejlépe nulová. Jinak řečeno:

„V instalaci se musí proud vracet v prostoru stejnou cestou jako přiteká.“ Lze toho docílit několika způsoby:

1. Použitím koaxiálního kabelu. Nejúčinnější, ale nejdražší, zabírá hodně místa.
2. Použitím krouceného vedení, zkroucených párů v kabelu. Twisted line, twisted pair. Poměrně účinné, efektivní, dlouho běžně používáno v telefonii, nyní v počítačové technice.
3. Použitím dvoulinky s blízko u sebe uloženými vodiči. Se vzdáleností vodičů magnetická vazba s okolím roste. V plochých několikažilových vodičích je třeba cesty stejných proudů vpřed a vzad umístit vedle sebe, ne vracet proud společnou zemí.
4. Použitím silového kabelu s paralelně propojenými žilami. Prostředek vhodný jako nouzový pro rušící silové kabely, nebo když jiný vhodný kabel není k dispozici.

12.3 GALVANICKÉ RUŠENÍ

Galvanické rušení je způsobené úbytky napětí na společných částech obvodu, vyvolanými proudy různých obvodů. Při realizaci elektrického obvodu mají společné části obvodů nežádoucí impedance společných referenčních vodičů (nesprávně řečeno zemních vodičů), společných napájecích vodičů a společných zdrojů. Situaci vykresluje obr. 12.3 pro vznik galvanického rušení na společném referenčním vodiči a 12.4. pro rušení vznikající na společném napájecím zdroji.

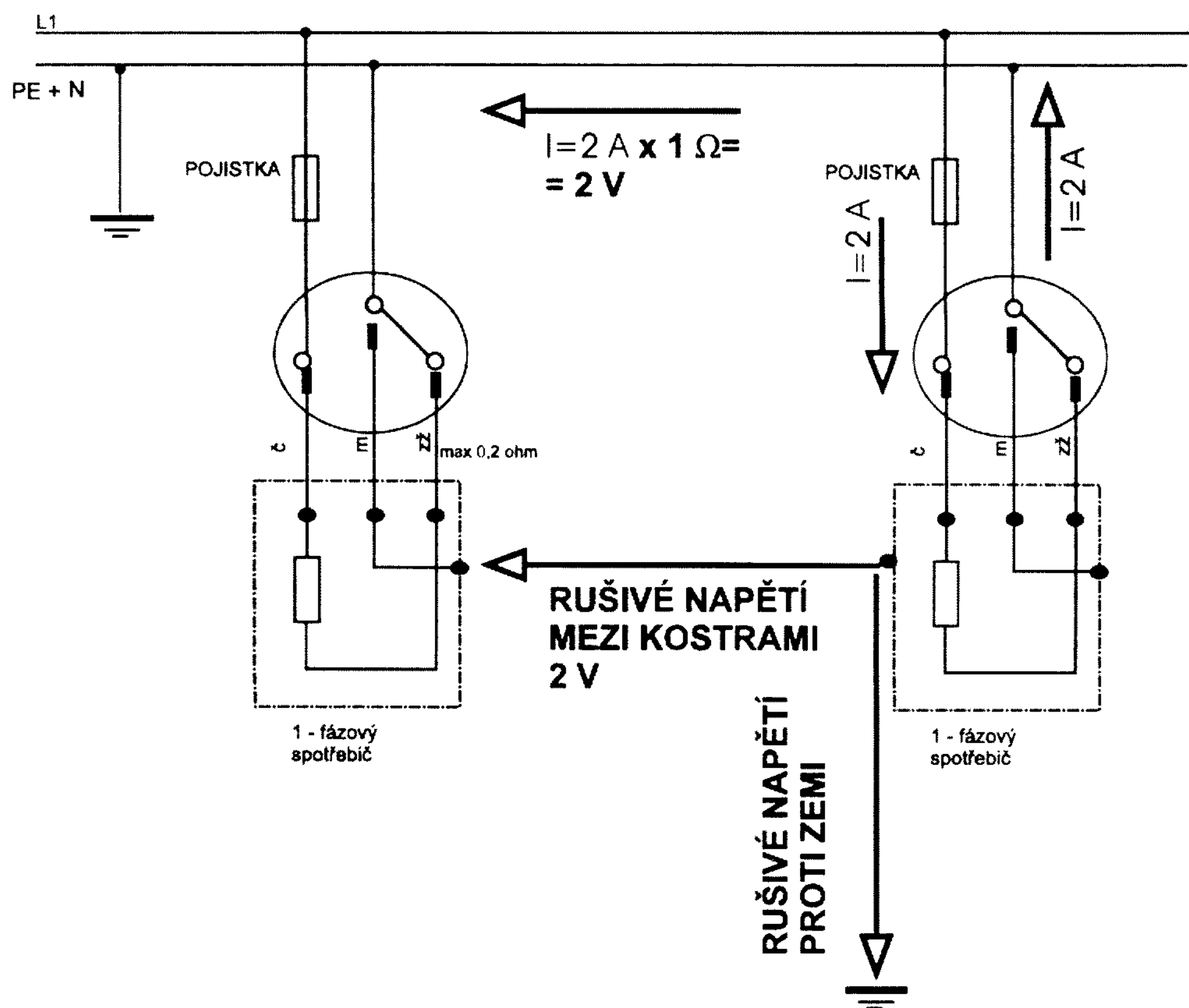


Obr. 12.3 Přenos rušení galvanickou cestou

Velikost rušivé složky napětí v.obvodu 2 v závislosti na proudu v obvodu 1:

$$\Delta u_{v2} = u_{o2} - u = R \cdot i_{v1} + L \frac{di_{v1}}{dt}$$

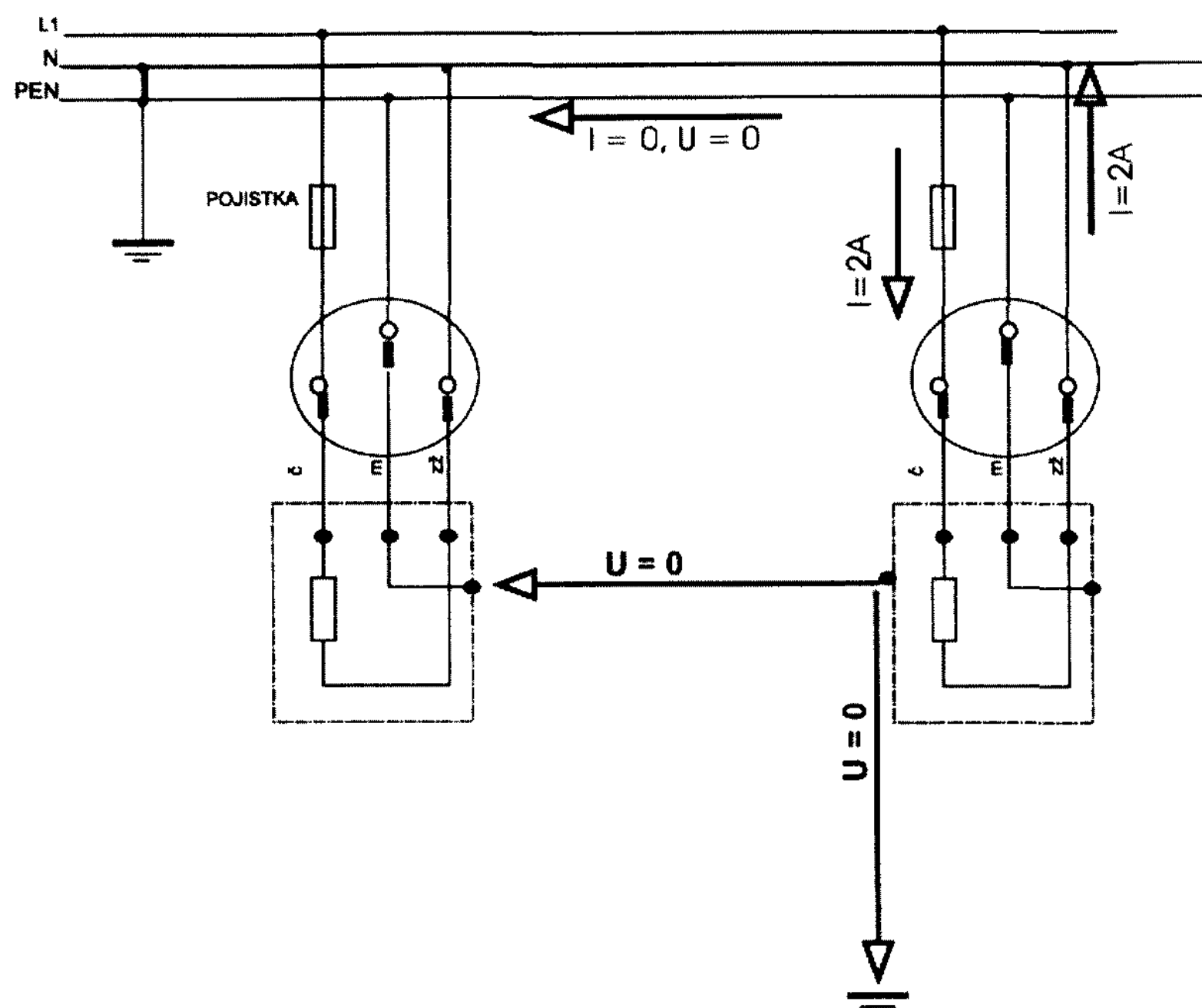
Typickým příkladem galvanického rušení je vznik napětí mezi kostrami – signálovými referenčními vodiči přístrojů, které jsou napájeny z rozvodné sítě se společným pracovním a ochranným vodičem (případ staré elektrovedné sítě dle staré normy), jak znázorňuje obr.12.4.



Obr. 12.4 Příklad galvanického rušení v napájecí síti

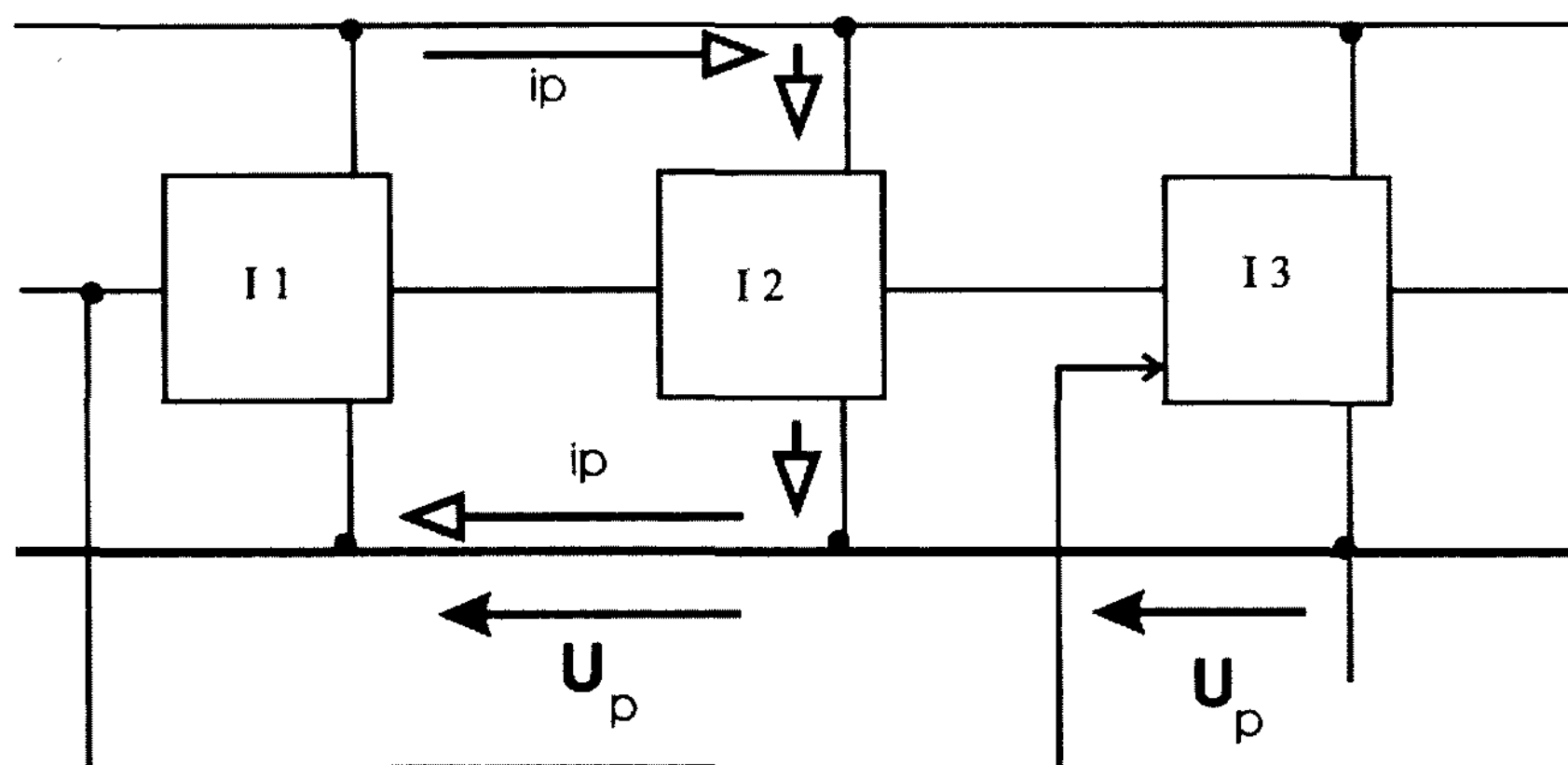
Rušivý úbytek napětí vznikne na impedanci společného vodiče průtokem pracovního proudu spotřebiče. Tento rušivý úbytek napětí je v případě propojení spotřebičů signálním vodičem zavlečen na tento signální vodič, kde takto veliké rušivé napětí působí nemalé potíže. Řešení není ani v zesilování průřezů vodičů, protože pro vznik rušivého úbytku napětí je významná zejména indukční složka impedance, kterou takto nelze výrazně snížit. Navíc na indukčnosti společného vodiče vznikají velké a ostré napěťové impulsy při skokových změnách pracovního proudu např. při zapínání a vypínání přístroje. Mohou až způsobit destrukci vstupních elektronických obvodů.

Správným řešením je pouze oddělení pracovního a ochranného obvodu, rozdělení pracovního nulového vodiče a ochranného vodiče, jak to předepisuje nová norma. Správné uspořádání síťových napájecích obvodů přístrojů třídy I okazuje obr. 12.5. Jiným řešením je použití přístrojů třídy II, tzn. provedení se dvojitou izolací, které nemají ochranný vodič.



Obr. 12.5 Odrůšení rozdělením pracovního a ochranného obvodu

Jiným často se vyskytujícím případem galvanického rušení je vzájemné ovlivňování integrovaných hradel na desce plošných spojů po společných referenčních (nesprávně "zemních") a napájecích vodičích. Situace je znázorněna na obr. 12.6.



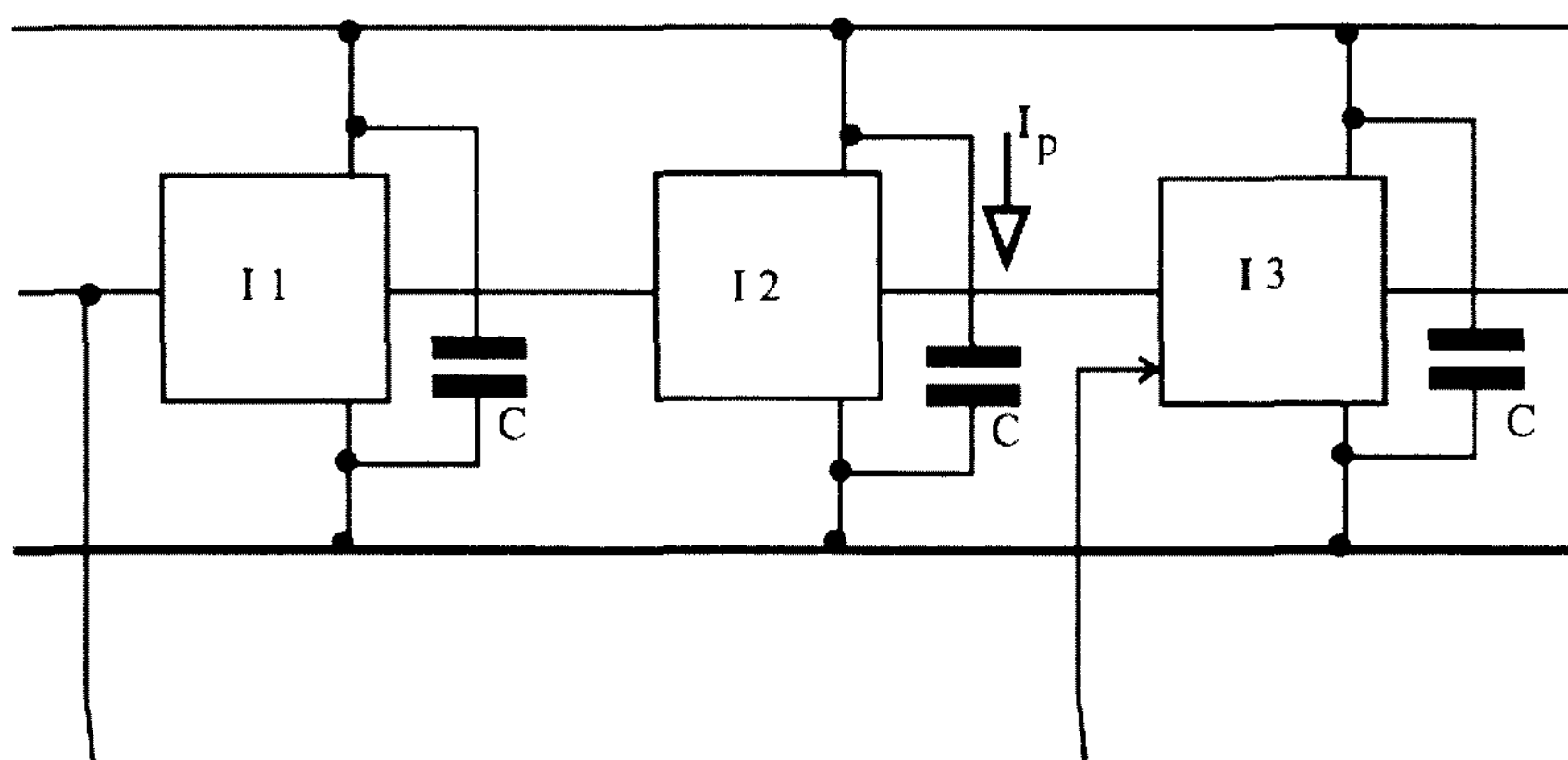
Obr. 12.6 Galvanické rušení v napájecím obvodu elektronického řetězce

Při přepínání koncového stupně TTL hradla při přechodu výstupu ze stavu L do stavu H dochází nejdříve k sepnutí "horního" tranzistoru hradla. "Dolní" tranzistor rozepne se zpožděním, daným časem potřebným pro vyprázdnění báze od nosičů nábojů. Tento čas je pro běžná hradla TTL 5 – 40 ns. Po tuto dobu jsou otevřeny oba transistory, koncovým stupněm teče proud i_p

$$i_p = \frac{U_{cc}}{R_o} \approx \frac{5}{100} = 50 \text{ mA}$$

Tento rychlý proudový impuls vyvolá na indukčnostech společných vodičů plošného spoje značné napěťové impulsy, které se různě sčítají s původními signály na vstupech a výstupech obvodů a nežádoucím způsobem ovlivňují funkci obvodu.

Řešení spočívá v připojení blokovacích kondenzátorů mezi společný a napájecí vodič. Kondenzátor musí být připojen v bezprostřední blízkosti integrovaného obvodu a musí být bezindukčního provedení. Používají se vysoko kapacitní keramické kondenzátory nebo v případě výkonových obvodů i kvalitní, tantalové kondenzátory. Proudová spotřeba napájecího obvodu je po dobu odběrového impulsu hrazena z náboje napájecího kondenzátoru.



Obr. 12.7 Odrušení napájecího obvodu blokovacími kondenzátory

Napájecí obvody musí být blokovány v bezprostřední blízkosti pouzder integrovaných obvodů blokovány kondenzátorem. Při poruše tohoto kondenzátoru, např. jeho odpojení v důsledku špatného pájení, dochází k nejrůznějším poruchám funkce zařízení často i k jeho náhodnému chování.

Všechny cesty rušení indukují v rušeném objektu napětí, které má tvar blížící se derivaci rušícího signálu. Proto velikost tohoto rušivého napětí s frekvencí narůstá. Větší míru rušení proto způsobují rychlé průběhy. Z toho vychází jednoduchý způsob odrušování: pokud celková funkce zařízení nevyžaduje využití plné rychlosti elektronických bloků, je výhodné zpomalit funkci elektronických bloků tak, aby byla jen o málo rychlejší než je nutné. Jednoduše toho dosáhneme např. řazením RC pasivních integračních členů – dolnofrekvenčních propustí na všechny exponované vstupy zařízení.

Tam, kde důvodu požadavku vysoké rychlosti funkce elektroniky nelze takové řešení použít je nutné použít jiného zabezpečení, např. bezpečnostních kódů pro přenos. Nejvyšší funkční rychlosti a nejjistější funkce zařízení dosáhneme však při odstranění nebo alespoň potlačení všech cest odstranění rušení. Nebezpečné cesty šíření rušení je třeba zvážit již při návrhu zařízení, dodatečná rekonstrukce např. výměna kabeláže je pracná a nákladná.