

předřadný generátor pulzů - doplněk k osciloskopu
dohromady se skopem tvoří
metalický Time-Domain Reflektometr

Návod k použití

Úvodem

Popisovaný přístroj je koncepčně primitivní generátor pulzů o napětí +5V, v rozteči asi 1 KHz.

Dva režimy: krátký pulz asi 30 ns (na přání lze upravit), nebo střída 50% (asi 500 us).

Počítá s připojením ke standardnímu osciloskopu s klasickou vysokou vstupní impedancí.

Vůči měřené lince lze zvolit jednu ze čtyř jmenovitých impedancí sériového zakončení.

Napájení zhruba +5V (3 - 6 V) = lze použít např. USB nebo 2 až 4 tužkové články.



Varování

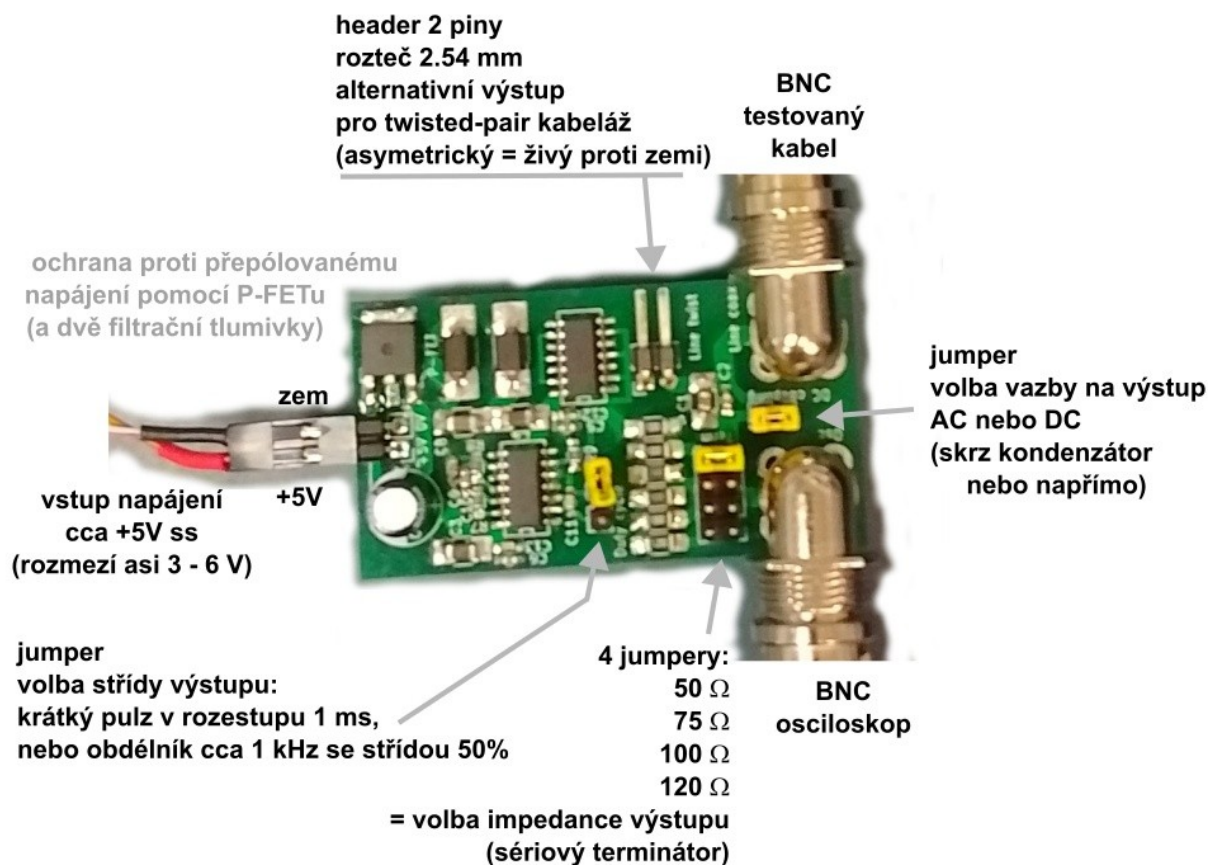
Elektrina kope!

Osciloskop je drahé zařízení s citlivými vstupy, které sice něco vydrží, ale hrubě necitlivým zacházením lze vstupy zničit. Například 230V st. vstupy osciloskopu při přímém připojení patrně nepřežijí. Ostatně stačí pár voltů, a pokud je například 12V napájecí větev hodně tvrdá, a proženete její zkratový proud signálovými zeměmi, umí taky napáchat slušnou paseku.

Proto je třeba, dávat v terénu pozor, zda se na měřených kabelech nepotuluje 230V st., udržovat si přehled, jak mám kolem skopu zapojené země (osciloskop nebývá oddělený), zda se nechystám chytit zemním krokodýlem sondy na tvrdé ss napájení apod.

Je třeba vědět, co měřím, a kam si mohu dovolit uzemnit referenční zem osciloskopu.

Popis přípojných konektorů a ovládacích prvků



Vstup napájení je opatřen jednoduchou ochranou proti přepólování v kladném=živém pinu. Potažmo tato sice ochrání samotný generátor nezapojený do obvodu, nebo s volně plovoucím napájením, ale nezabrání toku zkratového proudu v případě, že si chybně připojená napájecí větev +5V v širším zapojení země najde cestu zpátky do země napájecího zdroje.
= Při napájení z USB si dávejte pozor.

Vazební kondenzátor na výstupu do linky je standardně překlenut jumperem (zkratovací propojkou). Pokud potřebujete měřit na lince, která má přiložené ss napětí, jumper odstraňte. Napětíová pevnost je asi 50V - pokud byste zvažovali měření v JTS, tak pozor na vyzváněcí napětí :-). Kondenzátor má kapacitu asi 10 uF, což dává na jmenovité impedanci linky 50 Ohmů časovou konstantu řádově 500 us (popravdě zbytečně moc. Na 50 km kabelu se nic neodrazí.)

Příklady měření

V následujících několika oscilogramech figuruje starší USB osciloskop ETC M595 = 1 GSps, analogová šířka pásma asi 300 MHz. Značka, model ani parametry samozřejmě nejsou podmínkou použití popisovaného generátoru / TDR adaptéru. Volba osciloskopu je zcela věcí uživatele, jeho reálných potřeb a možností. Podrobnějším parametrům věnujeme samostatný odstavec níže.

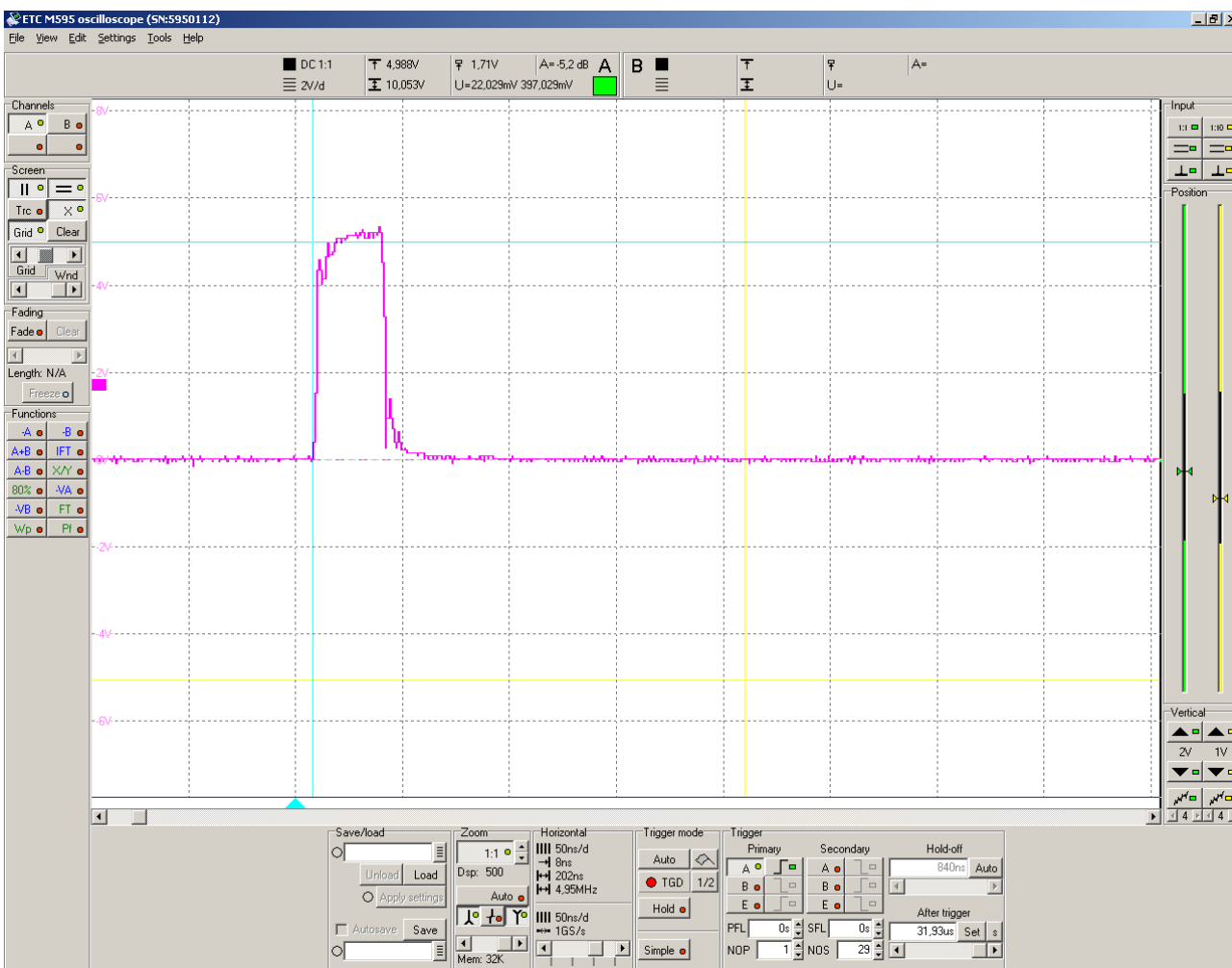
V příkladech je měřen koaxiální kabel o délce 20 metrů z materiálu RG58 = 50 Ohm, činitel zkrácení 0.66 (= asi dvě třetiny). Z toho plyne round-trip asi 10 ns na metr kabelu.

Kurzory jsou v obrázcích nastavené na amplitudu +/- 5V a časové rozmezí 200 ns = 20 m kabelu.

Stínítko v aplikaci ETC má původně černé pozadí. Pro potřeby tisku jsem pozadí ve screenshotech následně invertoval (negativ).

Bez zátěže

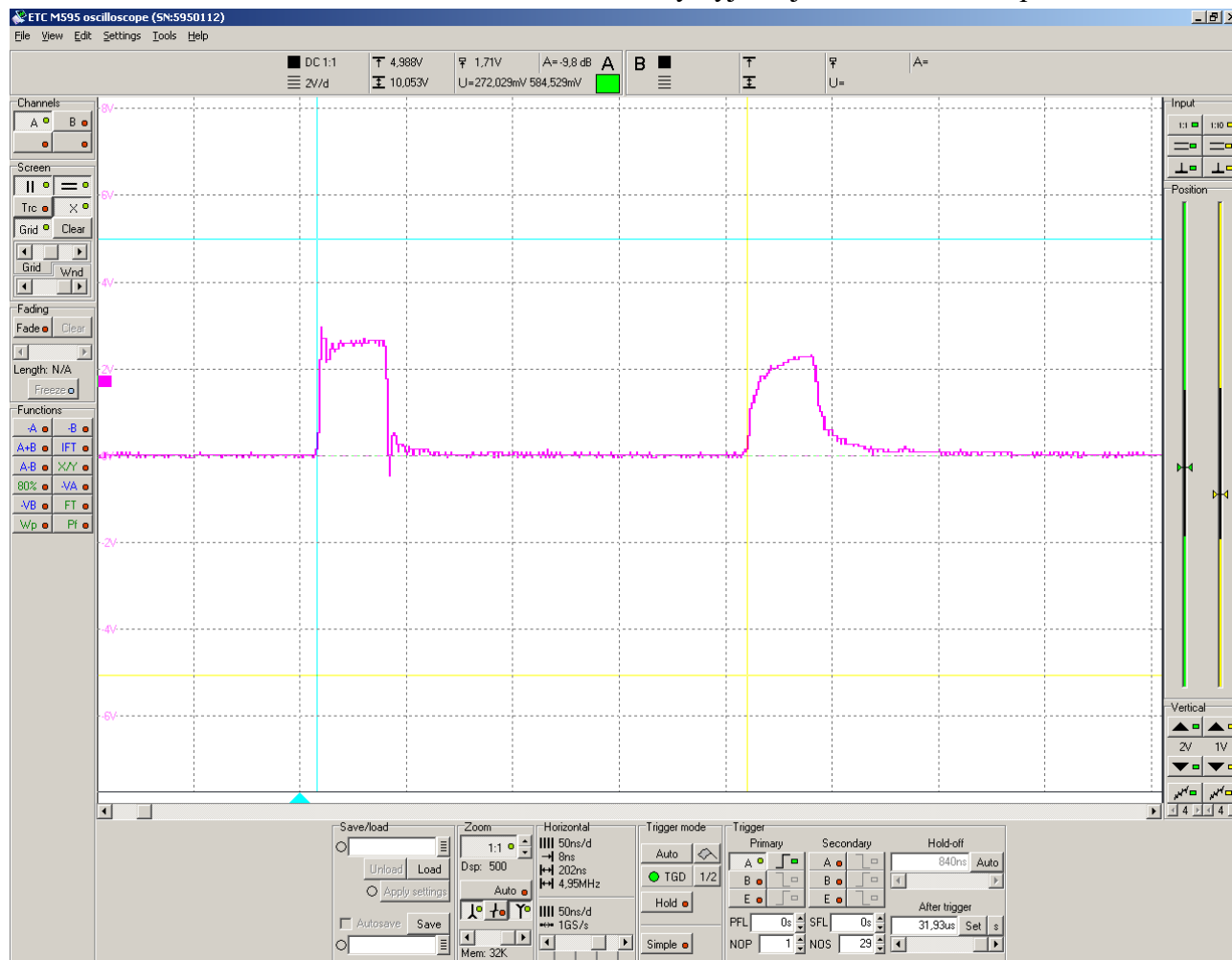
Na prvním obrázku není dosud kabel připojen. Pulz je proto vysoký plných 5V (protože je bez zátěže) a není vidět žádný odraz. Toto je čistý výstup samotného generátoru. Přibližně takového obrázku je třeba dosáhnout při počátečním nastavení osciloskopu.



Volný konec

V tomto příkladu je kabel již připojen a má „volný konec“ = opačný konektor není k ničemu připojen. Signálový vodič „visí ve vzduchu“ (zajisté podél svého koaxiálního stínění, ke kterému má vztaženu jmenovitou VF impedanci).

Všimněte si krásného kladného odrazu. Zaoblené hrany vyjadřují omezenou šířku pásma kabelu.

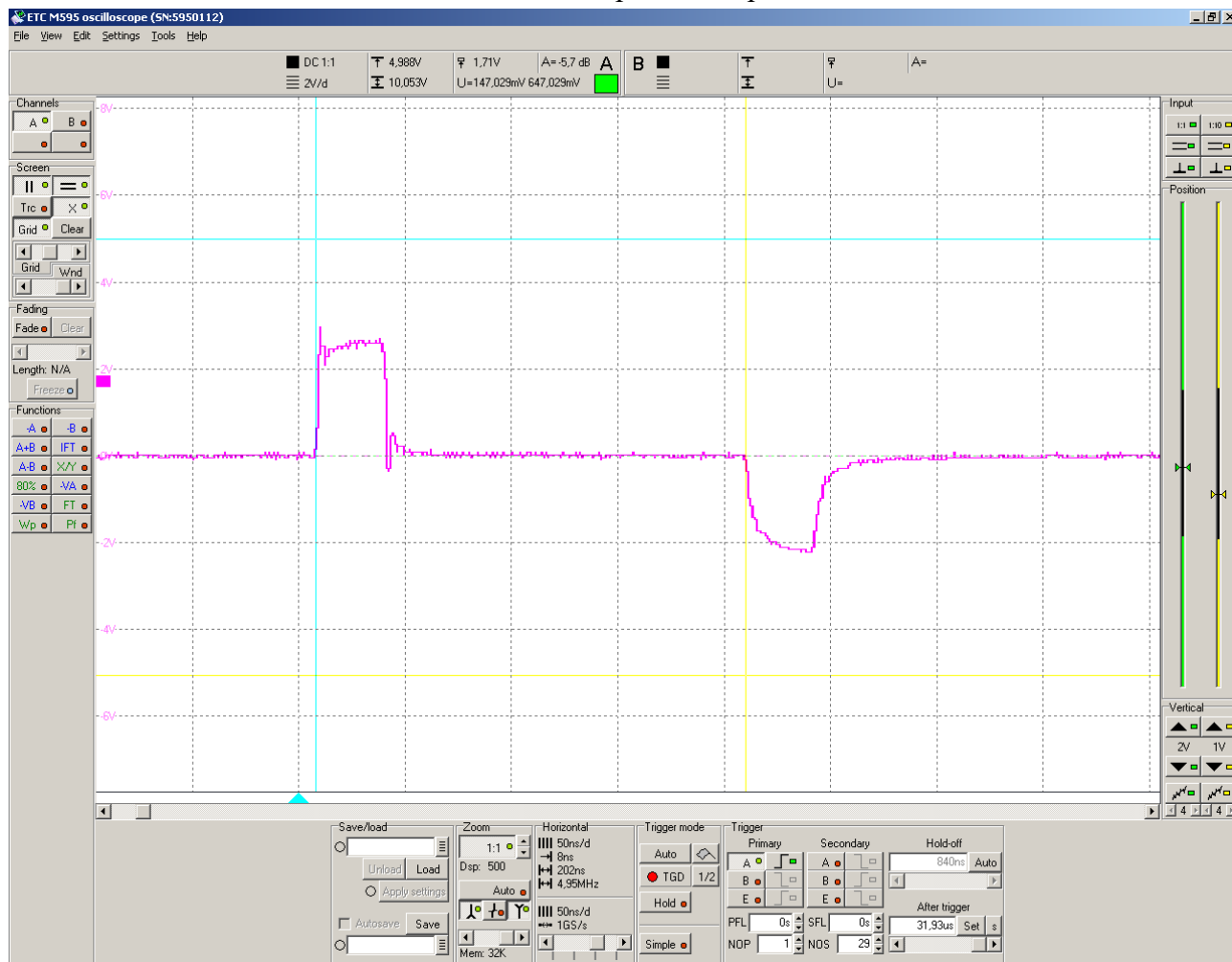


Oproti předchozímu obrázku („zastřelovací“ scénář) poklesla amplituda na výstupu generátoru na polovinu, protože se projevilo jeho impedanční přizpůsobení ke kabelu - které se chová jako odporový dělič 1:2. Tato „neúčinnost“ je daná za bezvadný přenos tvaru signálu, bez „odrazu na zdroji“.

(Dílčí odraz na zdroji se patrně přesto koná, pouze je už mimo obrazovku. Obvykle se podruhé částečně odrazí zákmitý na ostrých hranách pulzu. Chcete-li to vidět, stačí o krok odzoomovat.)

Zkrat na konci

V tomto obrázku byla do konektoru na protějším konci kabelu zašroubována zkratovací propojka. Všimněte si krásného „zrcadlového“ odrazu se zápornou amplitudou.

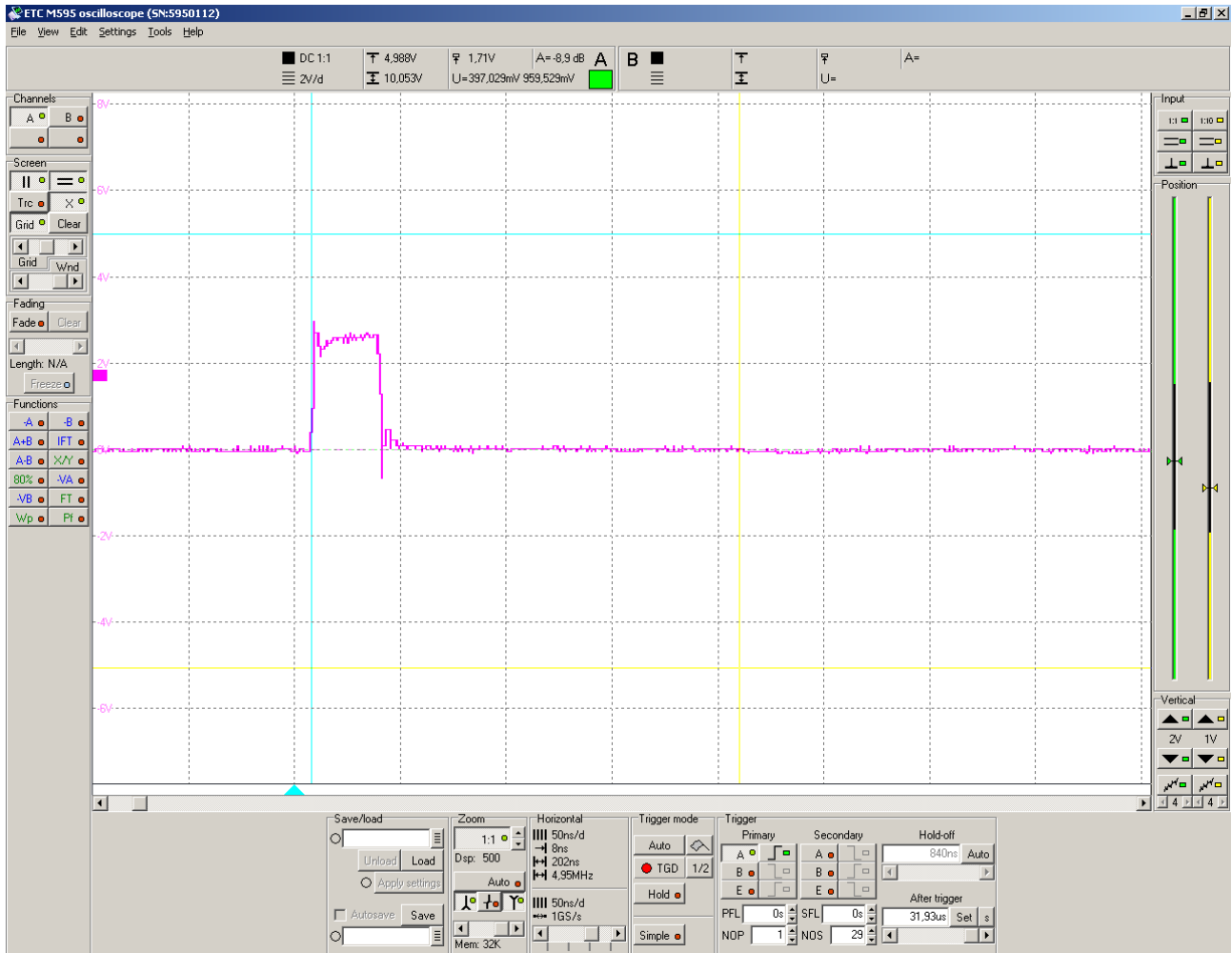


Pokud zkusíte zkrat zaimprovizovat šroubovákem / pinzetou apod, patrně si všimnete, že zkrat není dokonalý, bude Vám kolísat přechodový odpor proti konektoru. Na tom je krásně vidět, jak citlivě a okamžitě TDR ukazuje různé dílčí vady v impedančním přizpůsobení. Toto se hodí při řešení reálných problémů.

Řádně zakončeno (terminátorem)

Další učebnicový obrázek. Odraz na konci kabelu zmizel - je totiž osazen zakončovací odpor.

Pokud máte podezření, že je kabel jenom odpojený, všimněte si amplitudy na výstupu generátoru: zůstala poloviční.

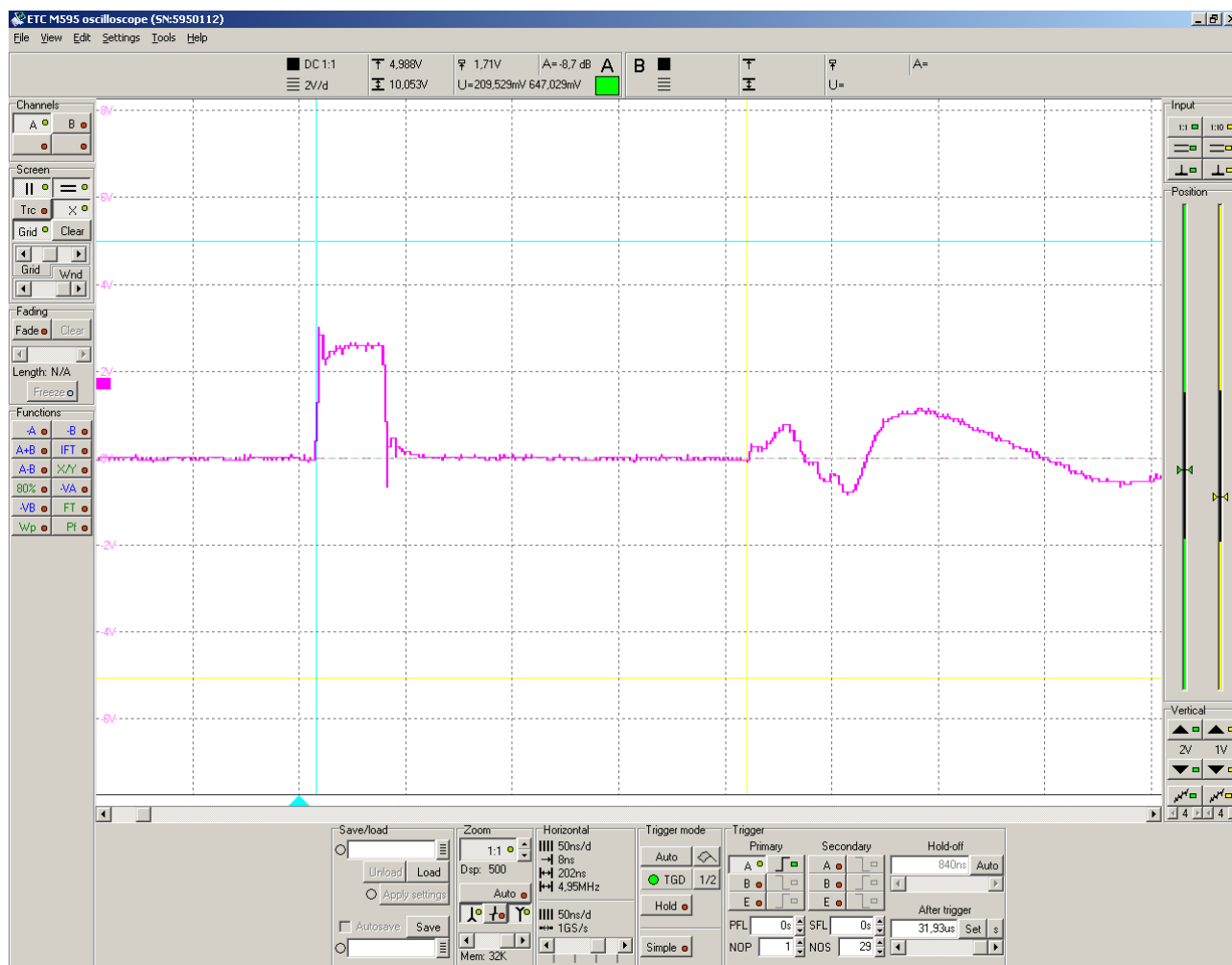


Pokud na screenshot zblízka zašilháte a přidáte trochu autosugesce, možná si všimnete nepatrně prohlubně či změny sklonu stopy těsně za svislým kurzorem, který odpovídá konci kabelu (začátku případného odrazu - viz předchozí snímky).

Do tohoto stavu je třeba dostat trasu, pokud ji měříte proti terminátoru. (Pokud terminátorem disponujete.) Takhle to má správně vypadat.

Připojená anténa

Na tomto snímku je na konci kabelu připojena anténa, konkrétně Meinberg GPSANT.



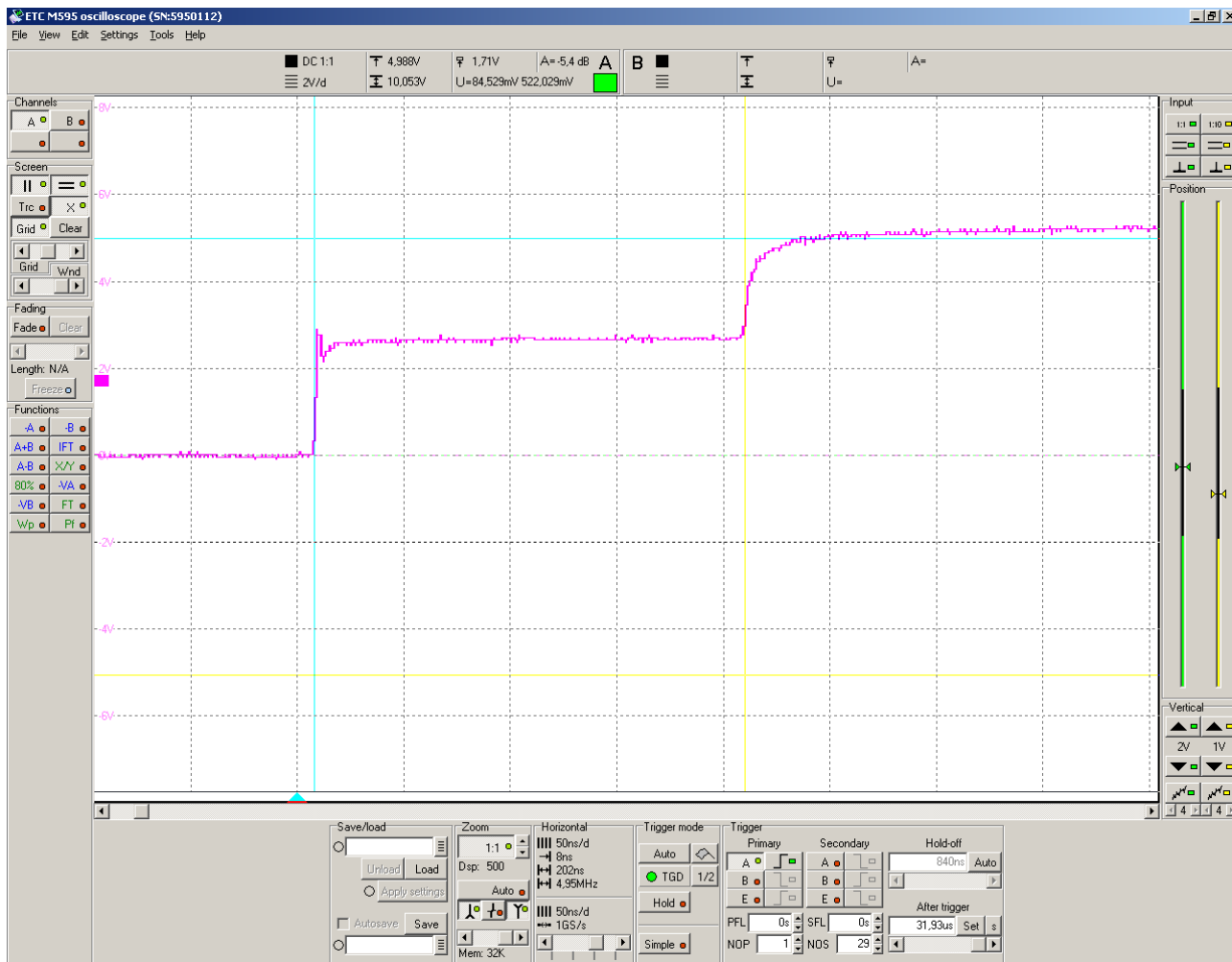
Tato „anténa“ ve skutečnosti obsahuje downkonvertor z GPS L1 na mezifrekvenci = plošák s aktivní elektronikou směšovače, který má na koaxiálním portu pro kabel filtr odbočující přiložené ss napájení a pak ještě frekvenční výhybku 10/35 MHz. Z toho plyne netriviální odezva v časové doméně na pulz generátoru. Přesný tvar a průběh netřeba zkoumat, mírně se liší i mezi různými generacemi GPSANT, pro jiné druhy a modely antén bude samozřejmě vypadat velmi různě.

V této kapitole jde jen o příklad.

A také o závěr, že i z takového obrázku lze usuzovat, že kabel je patrně v pořádku, protože ten klikatý odraz začíná na očekávané časové souřadnici, kde máme předchozím testem s otevřeným koncem určen konec kabelu. Pokud jemným vakláním není vidět změny na odrazu, je vedení včetně konektorových spojů patrně v pořádku, přestože nemáme připojený košer terminátor, ale prostovlasou anténu.

Dlouhá střída s volným koncem

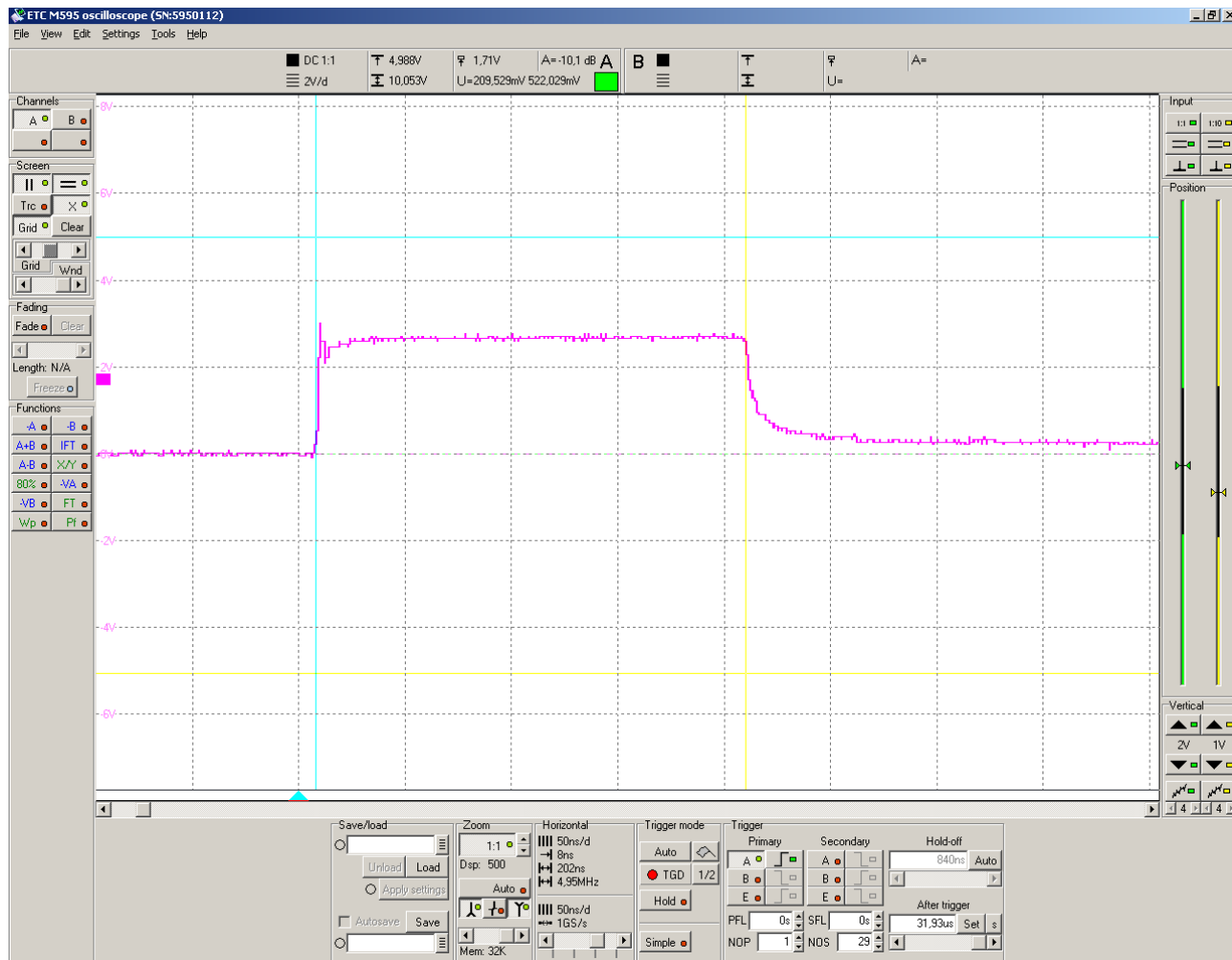
Tento a následující snímek ukazují měření s dlouhou střídou. Zde s otevřeným koncem vedení.



Představte si, jak se kabel „napouští“ nábojem postupně od zdroje, a když tento děj dosáhne volného konce, postupující náboj se „odrazí se souhlasnou amplitudou“ zpátky ke zdroji (v polovičním čase, než ve kterém jeho návrat vidíme na skopu u zdroje). Terminologicky správně vlastně vedením putuje rychlostí světla „změna stavu“ (napětí), nikoli sám náboj... nebuďme detailisti :-)

Dlouhá střída se zkratem na konci

Analogický obrázek jako v předchozí situaci, pouze zde se nám ze vzdáleného konce vrátí informace o momentálním zkratu :-)



Dlouhý pulz se hodí na dlouhých a méně kvalitních vedeních, jejichž omezená šířka pásma utlumí odraz krátkého pulzu až k nepostřehnutelnosti. Dlouhý pulz má mnohem více prostoru k vodorovnému „rozpliznutí“, a pokud máte na opačném konci vedení kolegu na telefonu, rozdíl mezi zkratem a otevřeným koncem je jasně vidět změnou prohnutí „rozpliznuté vlny“.

Nastavení osciloskopu

Začněte na nejrychlejším běhu časové základny. U digitálních skopů volte skutečnou nejvyšší vzorkovací frekvenci, která není „statisticky nafouklá opakováním průběhů“ (= falešná). Zpomalit můžete později - například aby se Vám na stínítko vešel odraz na příliš dlouhém kabelu, který při rychlém běhu časové základny vyjde mimo obrazovku.

Začít potřebujete každopádně tím, že vidíte vlastní pulz generátoru, nebo jeho náběžnou hranu (při měření širokou střídou).

Počáteční vertikální rozsah by měl s jistou rezervou zobrazit 5V napříč stínítkem (lépe +/- 5V kolem nuly uprostřed). Generátor posílá pulzy bez zátěže o výšce +5V proti nule, ale hodí se vidět případný zkrat, který se projeví odrazem pod nulu (viz obrázkové příklady). Pravda je, že při správném impedančním přizpůsobení odraz na zkratu nepřekročí -2.5V, a při režimu „široký pulz“ nejde signál vůbec do záporných hodnot. Stejně jako s časovou základnou, také vertikální měřítko a ofset si následně doladíte podle okamžitých potřeb.

Volte spouštění (trigger) prahovou hodnotou v signálu (vzestupně), vertikální práh nastavte na zhruba +1V až +2V, na časové ose umístěte značku spouštění někam k levému okraji obrazovky (= na začátek). Digitální osciloskop ji může automaticky umístit víc doprava, nebo při zoomování v dlouhé záznamové paměti může časové znaménko triggeru uplavat mimo aktuální „záběr“ - v této situaci vidíte obnovu stopy na stínítku, ale nevidíte počáteční pulz či hranu generátoru. Cílem je, zasynchronizovat počátek měření na pulz či vzestupnou hranu.

Režim spouštění nastavte buď standardní (není trigger = není obraz) nebo „automatický“, kde při absenci triggeru stopa volnoběží. Patrně nechcete režim jednorázový.

Digitální osciloskopy mívají „umělý dosvit“ s nastavitelnou dobou odeznění - to je užitečná pomůcka při hledání vaklů nebo při práci na zarušeném vedení (nebo když ždímáte z reflektometru krátké vzdálenosti / děje na hranici vlastního šumového pozadí přístroje).

V konfiguraci osciloskopu volte stejnosměrnou vazbu vstupu. Pokud zvažujete měření zaživa na lince, která má nějaké stejnosměrné předpětí, generátor má k tomuto účelu volitelně zařaditelný kondenzátor na živém vodiči směrem do měřené linky - odstraňte jumper, který ho v základní konfiguraci překlenuje. Vazební kondenzátor na výstupu generátoru by měl vydržet 50V.

Osciloskop nechte nastavený na stejnosměrnou vazbu.

Výstup generátoru pro osciloskop neobsahuje dělič - proto v osciloskopu volte konfiguraci sondy „1:1“. V tom případě bude zobrazovaná amplituda ve Voltech odpovídat realitě na lince.

Pokud má případně osciloskop zabudovaný terminátor pro VF měření, tak ho radši nechte vypnutý, přestože na 50 nebo 75 Ohmch by mohl posloužit. Pro potřeby TDR měření vyhovuje pro osciloskopy typická „vysoká impedance“ (asi Megaohm, paralelně s dvouciferými pikofarady). Pro impedanční přizpůsobení k lince použijte zkratovací propojku generátoru na jedné ze čtyř pozic: 50, 75, 100, 120 Ohmů. Snahou při návrhu bylo, zbytečně nenarušovat impeadanční přizpůsobení na straně generátoru - proto je použit relativně tvrdý a rychlý budič a explicitní sériová terminace.

Jaký osciloskop je vhodný

Vhodný je osciloskop, který především máte k dispozici :-)) a nejlépe se nemusíte úplně bát ho použít, v případě potřeby ho tahat sebou do terénu apod.

Je dobré, aby měl analogovou šířku pásma aspoň cca 100 MHz, a časová základna aby obsáhla délku kabelu. Například koax RG58 má činitel zkrácení 0.66 a skop ukazuje odraz = round-trip, proto 1 m délky kabelu je na stínítku osciloskopu vidět jako 10 ns.

Digitální osciloskop je samozřejmě jedině užitečný, pokud se nejedná o patetickou neovladatelnou hračku s neurčitými parametry a schopnostmi (kdysi dávno mě v tomto smyslu smutně překvapil low-endový Fluke Scopemeter).

Obecně čím větší analogová šířka pásma a čím rychlejší vzorkování, tím detailnější bude výstup. Frekvenci 100 MHz odpovídá délka vlny ve vakuu 3m - takže na měření kabelových tras v délce mnoha set metrů vlastně ani těch 100 MHz není zdaleka potřeba.

Naopak když hledáte vakly v signálové cestě dlouhé pár metrů, a jde Vám o rozlišení v desítkách cm, bude Vám každá stovka MHz navíc velmi užitečná.

Užitečné je bateriové napájení. Jednak pro měření v terénu, druhak protože příjemným vedlejším důsledkem je referenční zem skopu galvanicky oddělená od ochranných zemí v místě použití.

Užitečné drobné příslušenství

- redukce koaxiálních konektorů. Záleží jen na Vás, co při své činnosti využijete. BNC jako výchozí bod není vůbec špatný, protože jsou dostupné hotové redukce jednak na 50-ohmové konektory jako N, SMA, RSMA, TNC a případně další, tak na 75-ohmové konektory (především F). A spojky samec-samec a samice-samice pro různé typy konektorů.

Je vhodné, udělat si přehled o trhu, protože redukce lze koupit za velmi různé ceny (a samozřejmě v různé kvalitě). Kdyžtak se ptejte.

- terminátory. Stačí třeba jeden-dva terminátory na N a BNC (případně další na F), plus k nim redukce na jiné typy konektorů - viz předchozí bod.

- pro měření CATx kabeláží existují komfortnější přístroje. Přesto pokud by byl zájem, měřit taky twistové kabely a strukturky hezky „postaru“ a namáhavě pár po páru reflektometrem, je možno postavit si adaptér 4 párů z RJ45 na 4x 2pin samičku v rozteči 2.54 mm, a naproti se hodí čtveřitý terminátor s konektorem RJ45. Impedance páru je něco kolem 110 Ohmů - neuděláte chybu, pokud použijete odpory 100 Ohmů. Bohužel toto nejde koupit hotové.

A hodí se také 1-2 kvalitní spojky RJ45 female-female = couplingy, ať už samostatné nebo třeba jako panelové Keystone kostky.

- pro měření jednotlivých párů v telco rozvodech se hodí „pigtail“ se samičkou 2pin/2.54mm, tuto propojit třeba metrem nějakého páru CAT5e licny na „čokoládu“ (lustrsvorku). K tomu lze dále připojit už cokoli krouceného podle okamžité potřeby.

Open-source dovětek

Jedná se o třístapadesátou praktickou realizaci starého ořepaného slaboproudého vtípu:

Potřebujete generátor krátkých ostrých pulzů, impedančně ho přizpůsobíte k měřenému kabelu, téčkem lokálně připojíte osciloskop - voila, instantní reflektometr.

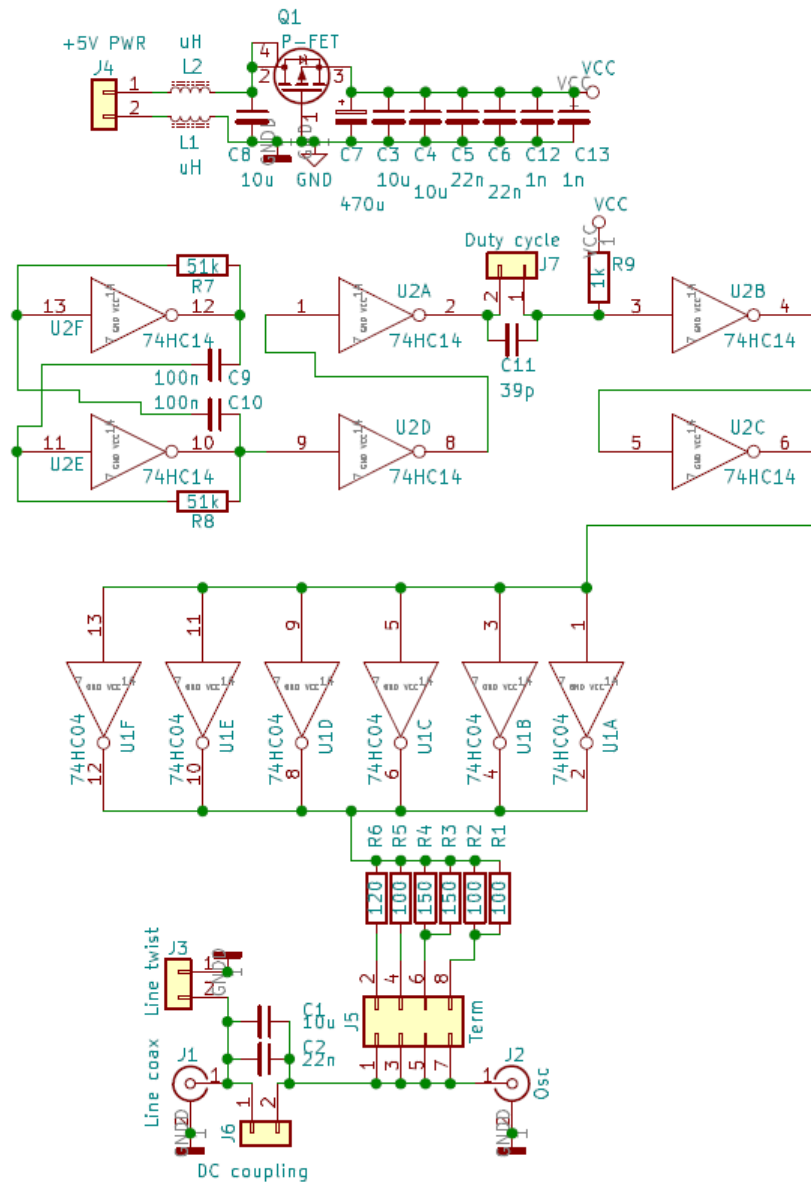
V internetech je k nalezení několik schémátek s velmi různou součástkovou základnou.

Zde popisovaný přístrojek používá rychlou hradlovou logiku, dřív se to dalo postavit z kusu koaxu a vhodného tranzistoru, který podrobujeme opakovanému lavinovitému průrazu (přepětím).

Údajně se jedná o klasický pokus z laboratorních cvičení na VŠ elektrotechnického zaměření.

Možná právě proto lidé s odborným vzděláním tento přístroj prakticky nepoužívají a nedá se koupit. Jo, známe, to jsme brali ve škole, ano funguje to. Kdo by používal jednoduché školní hračky.

Což samozřejmě amatéra nemůže odradit, aby si tuhle věc nepostavil.



Consider using 74AC or 74ACT, or 74ABT.
With 5V supply, 74AC/ACT gives 5V high voltage,
but 74ABT only reaches about 4 Volts.
OTOH, 74ABT is the fastest.