

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta elektrotechnická

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2015

Bc. Miloš Zrníć

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická
Katedra telekomunikační techniky

**Měření na komunikačních branách pro chránění
energetické sítě**

Květen 2015

Diplomant: Bc. Miloš Zrníć
Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Vodrážka, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a konzultanta a používal jsem pouze literaturu v práci uvedenou. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti půjčování nebo zveřejňování mé diplomové práce nebo její části se souhlasem katedry.

Datum: 11. 5. 2015

.....

podpis diplomanta

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra telekomunikační techniky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Bc. Miloš Zrnič**

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika
Obor: Sítě elektronických komunikací

Název tématu: **Měření na komunikačních branách pro chránění energetické sítě**

Pokyny pro vypracování:

Seznamte se se standardem IEC 60834-1 a další související literaturou. Zpracujte rozbor měřících postupů a návrh metodiky pro ověřování parametrů komunikační brány firmy TTC s rozhraními E1, která zabezpečuje přenos povelů mezi chránicími prvky energetické sítě za pomoci vybavení dostupného na katedře telekomunikační techniky. Proveďte porovnání měření za různých provozních podmínek, pro přímou komunikaci E1 i přenos E1 over Ethernet a porovnejte s teoretickými předpoklady.

Seznam odborné literatury:

- [1] Vodrážka, J. - Havlan, M.: Přenosové systémy a sítě. Skriptum ČVUT. 2009.
- [2] Standard IEC 60834-1
- [3] Firemní dokumentace společnosti TTC Telekomunikace.

Vedoucí: doc.Ing. Jiří Vodrážka, Ph.D.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2015/2016



prof. Ing. Boris Šimák, CSc.
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 5. 3. 2015

Anotace:

V této práci je popsán systém pro přenos povelů ochran pomocí telekomunikačního přenosového systému. Výsledkem práce jsou navržené měřicí metody dle standardu IEC 60834-1 pro ověření správného fungování zařízení pro přenos povelů firmy.

Zkušební metody jsou prováděné na zařízení TP 10 od firmy TTC, které umožňuje přenos až deset obousměrných povelů.

Klíčová slova:

PCM, povel, E1, zařízení pro přenos povelů, standard IEC 60834 -1, ochrana energetické sítě, systém pro přenos povelů ochran

Summary:

The thesis brings a description of the teleprotection equipment, using the telecommunication transmission system. The results of the research are proposed measuring methods, which are in line with the standard IEC 60834-1 for the verification of the proper functioning of the teleprotection equipment.

Testing methods were performed using the TP 10 equipment developed by the company TTC. This device enables transfer of the ten bidirectional commands.

Index Terms:

PCM, command, E1, teleprotection equipment, standard IEC 60834-1, protection for power network, teleprotection system

OBSAH

1.	OBSAH	7
2.	Úvod	8
3.	Přenosový systém PCM 30	9
4.	Popis standardu IEC 60834-1	12
5.	Zařízení pro testování přenosu povelů TP 10.....	14
5.1	Úvodní popis zařízení	14
5.2	Rozhraní na přístroji.....	15
5.3	Dohledový systém LMSv3.0	17
5.4	Rozhraní E1.....	18
5.5	Rozhraní TC.....	19
5.6	TC_1 TG. 1-4.....	22
6.	Použití zařízení TP10.....	26
7.	Měření zpoždění signálů při přenosu povelů	28
7.2	Výsledek měření.....	30
7.3	Závěr měření	32
8.	Zabezpečení přenosu	33
8.1	Teoretický úvod.....	33
8.2	Měření bitové chybovosti	34
8.4	Měření bitové chybovosti ve vztahu se SNR.....	35
8.5	Měření bezpečnosti při naměřených hodnotách BER.....	36
9.	Provozní spolehlivost	39
9.1	Teoretický úvod.....	39
9.2	Postup měření	39
9.3	Měření spolehlivosti v závislosti na BER.....	40
9.4	Výsledek měření.....	41
9.5	Hodnocení výsledku měření.....	43
10.	Měření fázového chvění.....	44
10.1	Teoretický úvod.....	44
10.2	Jitter na výstupu vysílače	45
10.3	Měření jitteru na vstupu přijímače	47
11.	Závěr.....	50

1. Úvod

Úkolem této práce je seznámit se s normou IEC 60834-1 a podle ní otestovat zařízení pro přenos povelů. Norma stanovuje provozní podmínky, které by zařízení mělo splňovat a možnosti využití přenosových telekomunikačních systémů. Jelikož u každého přenosového systému může dojít k různým druhům rušení a šumů, norma stanovuje měřicí postupy při otestování zařízení pro přenos povelů.

Testy se budou provádět na zařízení TP10 od společnosti TTC Telekomunikace. Zařízení TP10 umožňuje přenos až deset obousměrných povelů a ochran. Přenos je možné realizovat optickou cestou, pomocí PDH prvního řadu, ethernetem nebo pomocí datového kanálu.

Ve standardu IEC 60834-1 jsou popsány provozní podmínky, které každé zařízení pro přenos povelů musí splňovat. Dle toho jsou v práci navrženy metody měřících postupů pro stanovení těchto podmínek. Cílem měření je zjistit odolnost zařízení vůči neideálním charakteristikám digitální přenosové cesty. Hlavní požadavky jsou: zjistit zpoždění při přenosu povelů, spolehlivost přenosu povelových impulzů, bezpečnost vůči nežádoucím povelům, odolnost proti fázové nestabilitě signálových prvků.

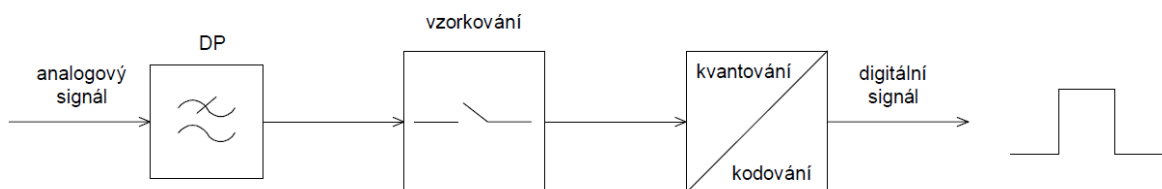
V energetických systémech kde tato zařízení používají je kladen důraz na spolehlivost a co nejmenší zpoždění při přenosu povelových signálů nebo signálu ochrany.

Úvodní část popisuje zařízení TP 10, standard IEC 60834-1 a pulzní kódovou modulaci. V další části, jsou zpracované měřicí metody, kde je ke každému měření uveden teoretický úvod a popis použitých měřících přístrojů.

2. Přenosový systém PCM 30

Přenosový systém PCM 30 je doporučen mezinárodní telekomunikační unií (ITU-T) ve standardu ITU-T. G. 711 skládá se z 30 kanálů pro přenos dat a dvou služebních kanálů. Tento přenosový systém má na obou koncích multiplexní jednotku. Přenosem na vysílací části PCM systému vzniká binární kód od osmi bitů, které se přenáší k přijímači, kde se signál převádí na analogový signál. Při takovém přenosu signálů může dojít ke zkreslení signálu, vzniku šumu a nestabilitě přenosového systému. U digitálního systému je důležité určit, zda v daném okamžiku existuje impuls.

Pulzně kódovou modulaci (PCM) charakterizují tři operace: vzorkování, kvantování a kódování. Tento proces je znázorněn na obrázku 2.



Obr. 3.1: Příklad realizace převodníku A/D

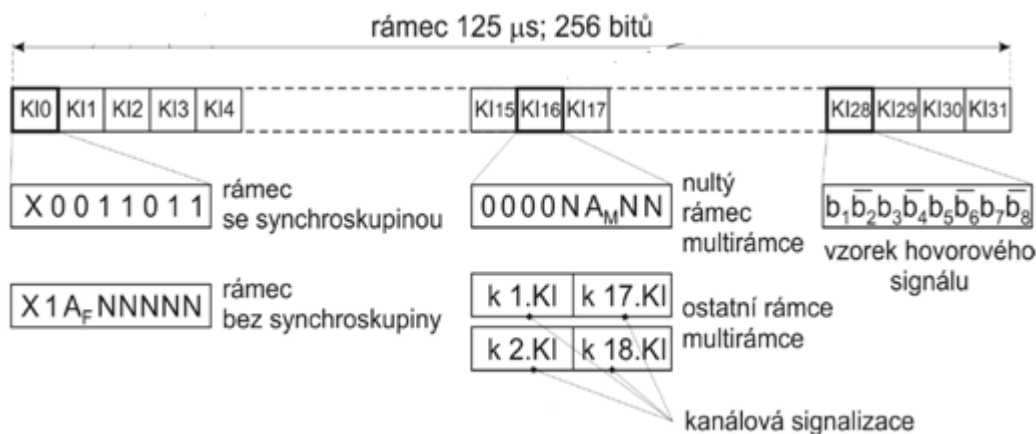
Z procesu vzorkování a vzorkovacího teorému víme, že vzorkovací frekvence musí být dva krát větší než nejvyšší mezní frekvence. Vzhledem k tomu, že PCM 30 je určen pro přenos telefonního signálu a frekvenční pásmo je omezeno mezi 300 Hz a 3400 Hz, je vzorkovací frekvence (f_v) jednoho PCM 30 kanálu je 8 kHz. Telefonním kanálem se rozumí přenos hovorového nebo jiného signálu pomocí telefonního systému. Z toho vyplývá, že perioda PCM rámce (T_v) je rovna 125 μ s a toto představuje dobu přenosu celého rámce. Jelikož je počet kanálů u PCM 30 roven třiceti dvěma, je doba trvání jednoho kanálu 3,9 μ s.

Vzhledem k tomu, že je požadováno, aby byl přenos uskutečňován s dostatečným odstupem od kvantizačního zkreslení, je nutné přenést 8 bitů, přičemž, tato volba vychází z nelineárního kvantování telefonního signálu. Podle vzorce pro určení kvantizačních úrovní $N = 2^b = 2^8 = 256$ bitů, dostáváme, že je pro přenos potřebujeme 256 kvantizačních úrovní.

PCM 30 má rámcovou strukturu 30 kanálů a slouží pro přenos užitečných kanálů, ostatní dva slouží pro signalizaci a synchronizaci. Každý kanál obsahuje osm bitů, protože se hovorový kanál kóduje pomocí osmi bitů. Přenosová rychlost jednoho kanálu je dána vzorcem:

$$v = 8 * 8 \text{ kHz} = 8/125\mu\text{s} = 64 \text{ kbit/s} \quad (3.1)$$

Na obrázku číslo 2 je ukázaná struktura rámce PCM 30.



Obr. 3.2: Struktura rámce PCM 30

Z obrázku je vidět, že rámec PCM je číslován numericky od 0 do 31. Nultý kanál je potřebný k synchronizaci rámce a je nezbytný k tomu, aby přijímač určil začátek rámce. V každém nultém kanálu první bit je určen pro kontrolu vzniku chyby. Nultý kanál se přenáší v každém sudém intervalu a přenáší synchronskupinu rámcového souběhu FAS (Frame Alignment Signal). V lichých intervalech je nultý kanál označován jako NFAS (None Frame Alignment Signal) a slouží pro přenos dalších informací. Druhý bit v tomto nultém kanálu má vždy binární hodnotu 1, třetí bit je alarmující (binární hodnota 0 znamená nepřítomnost alarmu, naopak logická 1 znamená okamžité alarmování). Poslední čtyři bity jsou národní, a, když se nepoužívají, mají hodnotu logická 1.

Druhý služební kanál je šestnáctý a slouží pro přenos signalizace všech kanálů v PCM 30. Pokud se přenáší přidružená signalizace k hovorovým kanálům (CAS) prvních čtyř bitů, tak se pro signalizaci využívá prvních 15 kanálů, a ostatní čtyři bity jsou využity pro signalizaci zbývajících 15 kanálů. Z toho důvodu že pro přenos signalizace nestačí osm bitů, vznikla struktura multirámce. Signalizace jednotlivých kanálů se ne posílá na každých 125 μs ale jednou v každém multirámci, tedy každé 2 ms.

PCM 30 s přenosovou rychlostí 2048 kbit/s je označován jako první řad v evropském hierarchickém modelu, neboli E1.

Řád	Přenosová rychlost [kbit/s]	Počet kanálů	Multiplexování
E0	64	0	-
E1	2048	30	30
E2	8448	128	4
E3	34368	480	4
E4	139264	1920	4
E5	564992	7680	4

Tab. 3.1: Evropský hierarchický model PDH

Tento model nazývá PDH (Plesionchronous Digital Hierarchy) a název plesionchronní je dán způsobem multiplexování. Dva taktovací signály jsou považovány za plesionchronní pokud mají stejnou hodnotu přenosové rychlosti, a jejich změna se pohybuje ve stanovených mezních intervalech. V procesu multiplexování je potřeba, aby se tyto signály přenesli na společný takt.

Přenosová rychlost vyšších řádů hierarchického modelu se počítá podle následujícího vzorce:

$$v = 4 * b_{n-1} + 2^n * 64 \text{ kbit/s} \quad [3.2]$$

kde n- je řád systému.

U PDH systému se mutiplexování provádí bit po bit a v tabulce 1 je uvedeno, kolikrát je nutné mutliplexovat určitý řad, aby se dostal na vyšší řad. U PCM je používán časový multiplex (TDM) a princip tohoto typu mutiplexování spočívá v tom, že se jednotlivým kanálům přiřazuje přesně omezený časový interval.

3. Popis standardu IEC 60834-1

Standard IEC 60834-1 popisuje provozní požadavky systémů pro přenos povelových informací. Tato norma specifikuje doporučené metody pro ověřování správného fungování zařízení pro přenos povelů. Doporučuje metody měření a specifikuje provozní podmínky, pod kterými by zařízení mělo fungovat. Obecně zařízení pro přenos povelů mohou pracovat v hovorovém nebo ve vysokofrekvenčním pásmu.

Metoda provedení provozních zkoušek závisí na tom, zda jsou informace pro přenos povelů přenášeny v analogové nebo digitální podobě. Závisí metoda provedení provozních zkoušek.

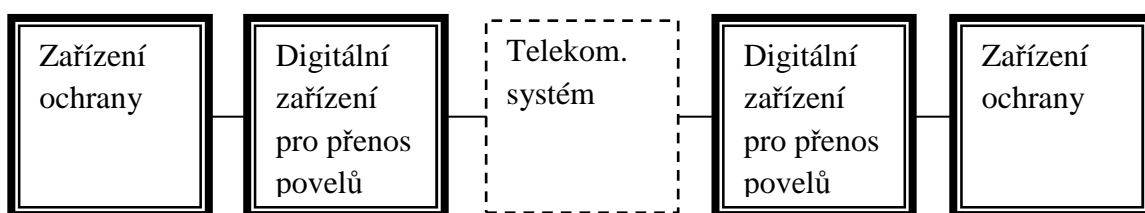
Zařízení pro přenos povelů, musí splňovat následující provozní podmínky:

Podmínky okolí, provoz s bateriovým napojením, provoz s napojením ze střídavé sítě a skladovací podmínky.

Podle normy může zařízení pro přenos povelů používat různé telekomunikační přenosové cesty:

- Vysokofrekvenční spoje
- Optická vlákna
- Mikrovlnné spoje
- Vedení pro přenos hovorového signálu

Důležitá podmínka použití telekomunikačních systémů je, aby tyto systémy neměly vliv na správnou funkčnost zařízení pro přenos povelů. Jelikož každý přenosový spoj ukazuje nějaké druhy rušení a přitom neexistují ideální přenosové systémy, je snahou, aby tyto šumy měly co nejmenší vliv na funkčnost zařízení pro přenos povelů. Typické upořádání telekomunikačního zařízení pro přenos povelů je ukázán na obrázku číslo 1.



Obr. 4.1: Digitální zařízení pro přenos povelů ochrany propojená přes multiplexní komunikační systém

Podle normy IEC 60834-1 zařízením pro přenos ochrany se rozumí takové zařízení, které se skládá z jednoho nebo více ochranných relé, z logických funkcí. [2]

Termínem ochrana se rozumí určité opatření pro detekci poruch, umožňující přerušit vysílání chybných stavů povelových signálů.

System pro přenos povelů (teleprotection system) je systém skládající se ze zařízení pro přenos povelu a také z přidruženého telekomunikačního systému.

Zařízení pro přenos povelů (teleprotection equipment) je podle normy definováno, jako zařízení, které převádí informaci o tvaru povelů na tvar vhodný pro přenos telekomunikačním vedením.

Podle normy se v této práci budou provádět testy na provozní spolehlivost, zabezpečení, testování odolnosti vůči jitteru a měření doby přenosu, bude se vlastně testovat, zda bude docházet k zpoždění přenosu povelů.

4. Zařízení pro testování přenosu povelů TP 10

5.1 Úvodní popis zařízení

Testované zařízení pro přenos povelů dle normy ČSN EN 60834-1 je zařízení TP 10 od výrobce TTC – telekomunikace, (pro tuto práci byla použita dvě zařízení). Zařízení je určeno pro přenos povelů a má tři režimy: blokovací, povolovací a strhávající.

Blokovací (blocking) – blokování vypnutí ochrany při zjištění poruchy

Povolovací (permissive underreach) – distanční ochrana (v případě, že jedna strana detektuje poruchu, na druhé straně se zabezpečí vypnutím)

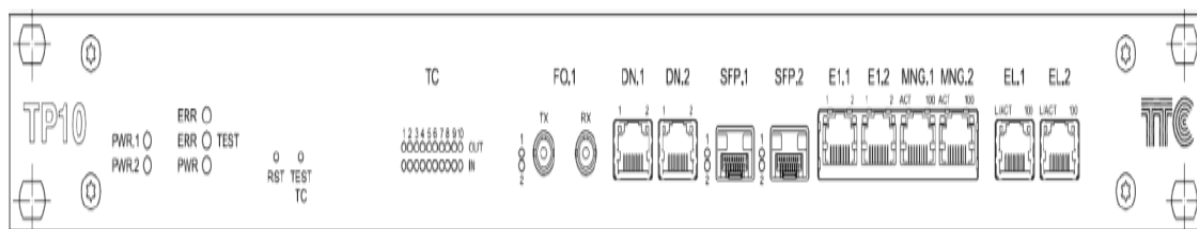
Strhávající (intertripping) – vypnutí pomocí povelů vyslaných ze vzdálené ochrany.[2]

Dvě zařízení mohou mezi sebou být propojena pomocí E1, optického nebo ethernet spoje. Pro zvýšení spolehlivosti je možné použít zálohu, jelikož pro každý typ přenosové cesty existují dva konektory.



Obr. 5.1. Vzhled zařízení TP 10 [3]

Na přední části panelu zařízení jsou umístěny konektory pro přenos telekomunikačními cestami, dohledové konektory, indikátory stavu zařízení.



Obr. 5.2: Čelný panel zařízení TP10[3]

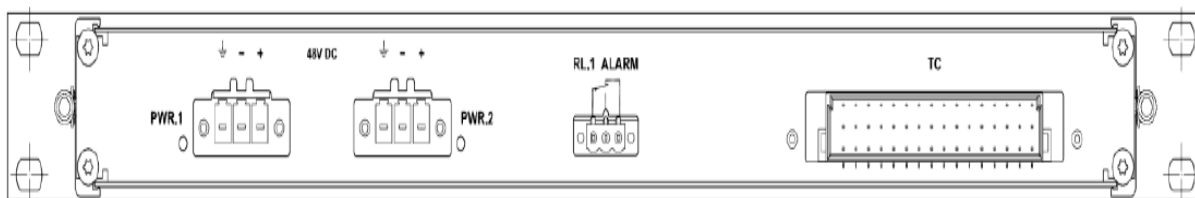
5.2 Rozhraní na přístroji

Konektory MNG.1 a MNG.2 slouží pro dohled přístroje. Tlačítkem RST se provádí restart zařízení (přerušení provozu na 30s) a test TC umožňuje provést zkontrolovat funkčnost TC konektorů. Dioda ERR signalizuje poplach, ERR test sdružený poplach a dioda PWR signalizuje vnitřní poruchu napájení. Signalizace jednotlivých diod je uvedena v tabulce číslo 1. Konektory SFP 1 a SFP 2 lze použít pro zapojení optických tras. Pro přenos srovnávacích ochran jsou určeny optické konektory FQ.1 a ethernetové konektory EL. 1 a EL. 2.

ERR	Nesvítí	Bez naléhavého poplachu
	Svítí červeně	Naléhavý poplach
	Bliká červeně	Chyba selftestu
ERR/TEST	Svítí žlutě	Bez naléhavého poplachu
	Nesvítí	Bez naléhavého poplachu
	Žlutě bliká	Probíhá test
PWR.1,PWR.2	Zeleně	Napájecí napětí v pořádku
PWR	Zeleně	Vnitřní napájení v pořádku
	Zeleně bliká	Startuje procesor
Command TC	Žlutě	Povel je aktivní

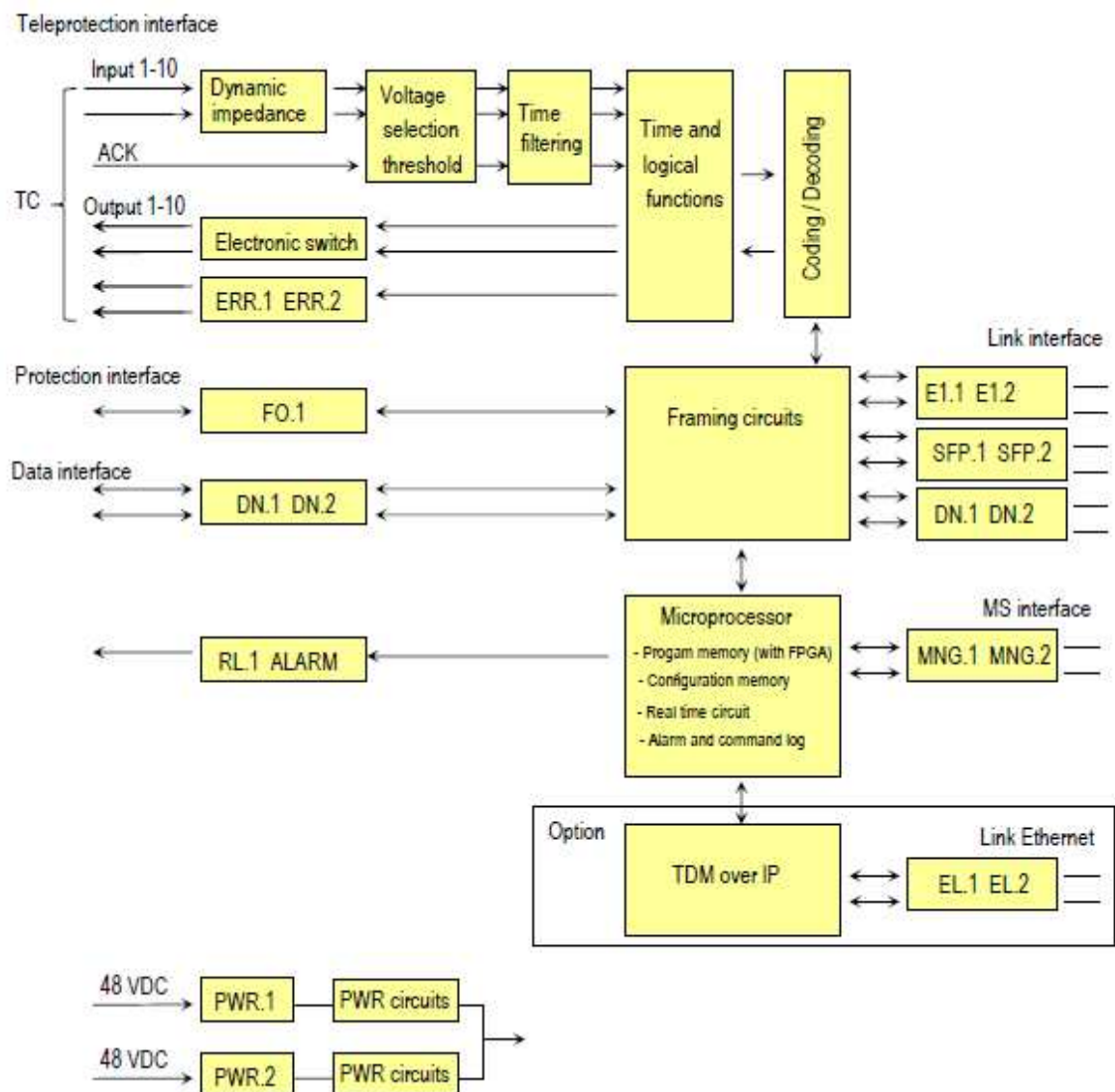
Tab. 5.1: Signalizace diod na čelním panelu zařízení TP 10 [3]

Na zadní části zařízení jsou umístěny TC sdružený konektor vstupu a výstupu povelů, vývody napájení a rozhraní indikující společný poplach RL. 1 ALARM.



Obr. 5.3: Zadní panel zařízení TP 10 [3]

Konektor TC umožňuje přenos 10 obousměrných povelů, pro testování v této práci bude použit jenom jeden vstup a jeden výstup TC1. TG konektoru.



Obr. 5.4: Blokové schéma zařízení TP 10 [3]

Voltage threshold – rozhodovací úroveň napětí

Time filtering – časová filtrace, (stavová změna povelu musí trvat déle než doba filtrace)

Coding/Decoding – kódování/dekódování

Time and logical functions – časová a logická funkce

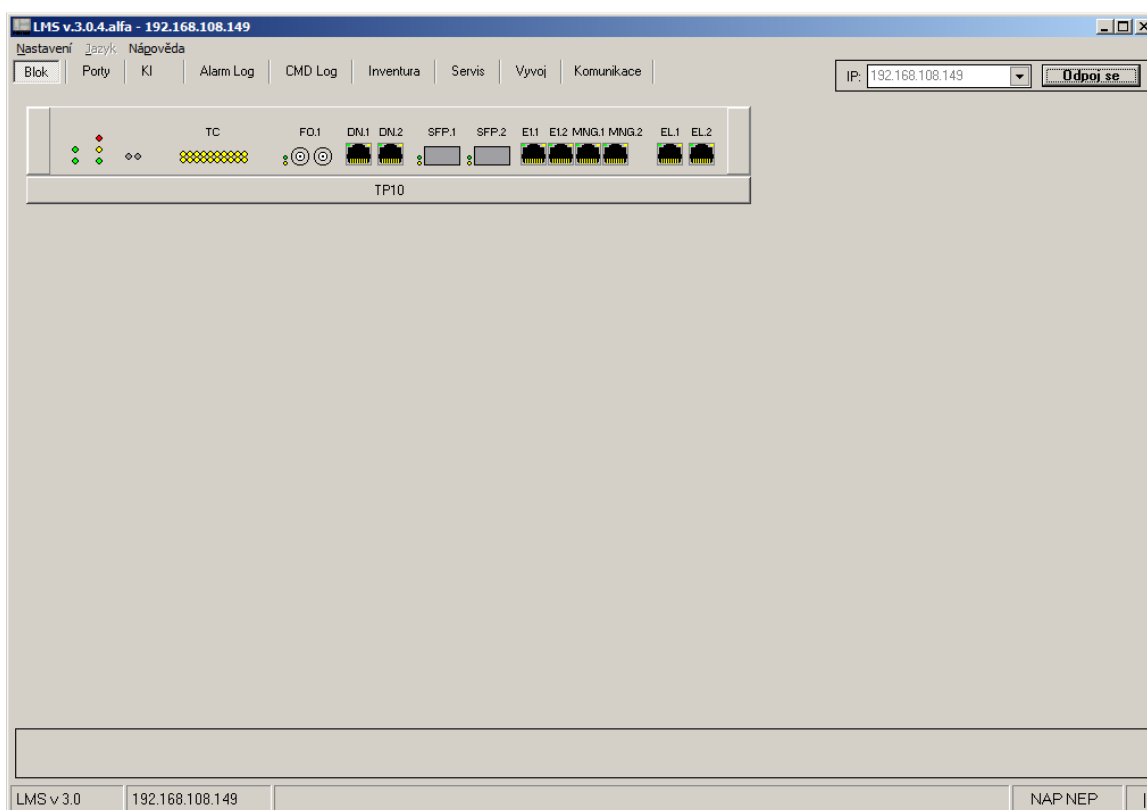
Microprocessor – mikroprocesor s programovou a konfigurační pamětí

Framing circuits – rámcové obvody

TDM over IP – časový dělení přes internetový protokol

5.3 Dohledový systém LMSv3.0

Zařízení TP 10 lze ovládat pomocí lokálního dohledového nástroje LMS – OCH verze číslo 3. K propojení dohledového systému slouží konektory MNG.1 a MNG.2 (Ethernet 10/100). Výrobce nastavená IP adresy jednoho TP 10 zařízení je 198.168.108.149/24 a druhého 198.168.108.148/24 a defaultní brána je 198.168.108.1. Podle těchto adres měla být nastavena IP adresa počítače, která musí být zvolena v daném rozsahu. V tomto případě byla zvolena IP adresa počítače 192.168.108.140/24. Na obrázku číslo 5 je ukázáno jak vypadá základní menu dohledového nástroje LMS kterým lze ovládat zařízení TP 10. Aplikace při instalaci zvolí aktuální jazyk operačního systému, základní menu zobrazuje čelní stranu zařízení (možné jazyky aplikace jsou čeština, angličtina a ruština).



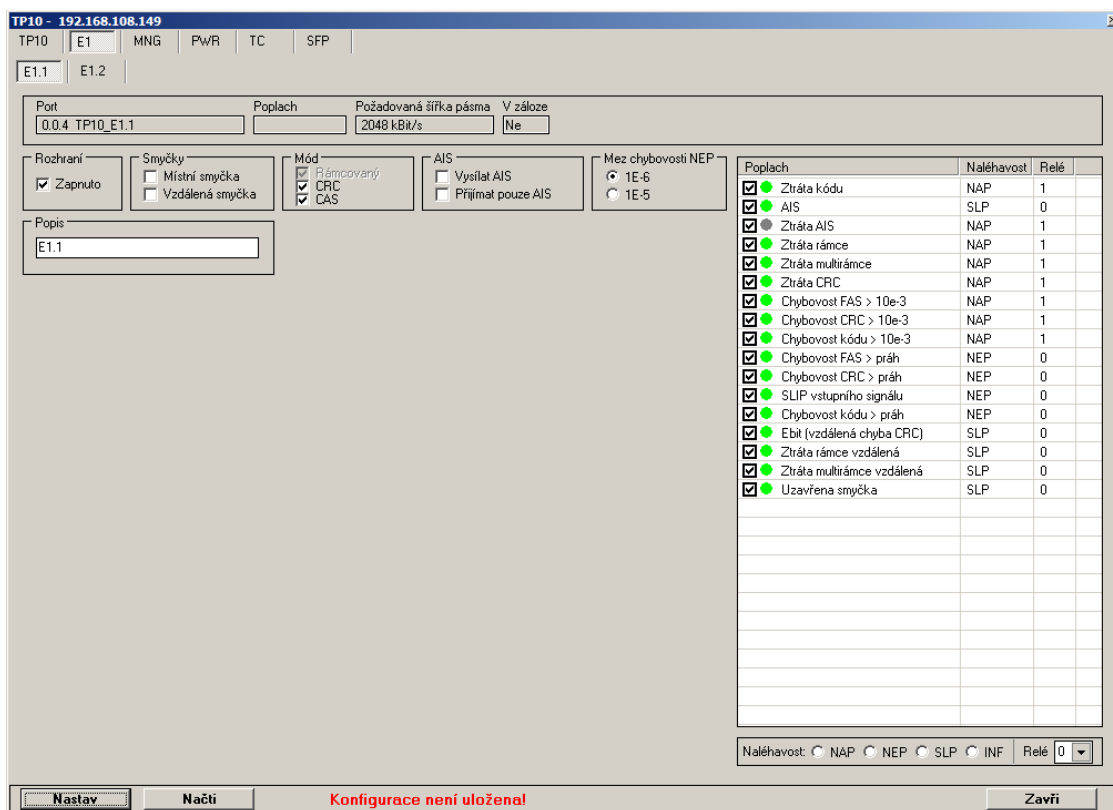
Obr. 5.5: Dohledový nástroj LMS

Kliknutím přímo na port MNG.1 lze nastavovat dané zařízení pro připojení s počítačem. Rozhraní je nutné zapnout, poté lze vidět přímo MAC adresu zařízení, které se zrovna pod dohledem a výrobcem nastavenou IP adresu z privátního rozsahu. Jedním počítačem lze mít pod dohledem obě testovací zařízení TP 10 tak, že se mezi sebou propojí jednotlivé porty MNG a potom stačí na zbývající MNG port připojit počítač. Každá změna v nastavení zařízení se musí potvrdit tlačítkem „nastav“. Na jednotlivá rozhraní se lze dostat přímo kliknutím v hlavním menu na požadovaný port, nebo je možnost vybrat

položku port a poté zvolit požadován port. Zařízení může být připojeno na složitější dohledový systém, který umožňuje správu místních a vzdálených zařízení. Příkladem takového dohledového systému je Doris200 Net.

5.4 Rozhraní E1

Při kliknutí na konektor E1.1 se zobrazí menu podle obrázku 6, na kterém lze sledovat poplachové alarmy tedy, zda například dochází k chybovosti, ztrátám rámce, multirámce a dalším parametrům linky. Každé rozhraní, které je používáno k propojení s dalším zařízením, je nutné zapnout zaškrtnutým položky „zapnout“. Mód konektoru je rámcový. Dále lze zvolit zda E1 rámec bude používat signalizaci CAS (v kapitole o PCM je vysvětlena signalizace v šestnáctém kanálu rámce E1) a také kontrolu blokové chybovosti CRC v nultém kanálu.



Obr. 5.6: Konektor E1

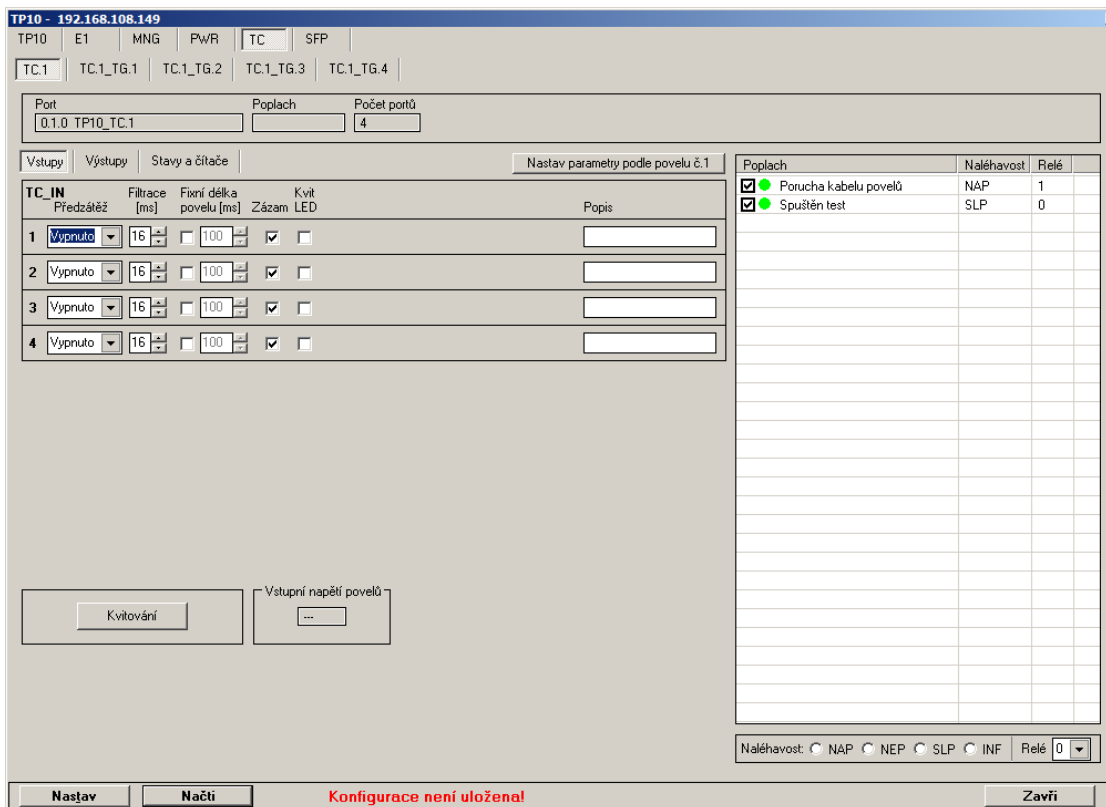
Na rozhraní je ještě možné nastavovat smyčky a to místní a vzdálenou, také je možné vybrat řád chybovosti NEP, zapnout možnost vysílat nebo pouze přijmout AIS. Místní smyčka vrací E1 signál zpět do zařízení, vzdálená naopak vrací signál do linky. Konektory E1.1 a E1.2 jsou typu RJ45, používají kód HDB3, impedance 120 Ω, struktura je rámcová podle doporučení ITU-T G. 704. V tabulce číslo 2 je uvedeno, na kterých pinech je vysílací a na kterých přijímací pár.

Pin	Signál	Popis
1	Tx	Vysílací pár
2	Tx	
3	-	Přijímací pár
4	Rx	
5	Rx	
6	-	
7	-	
8	-	

Tab. 5.2: Popis rozhraní E1

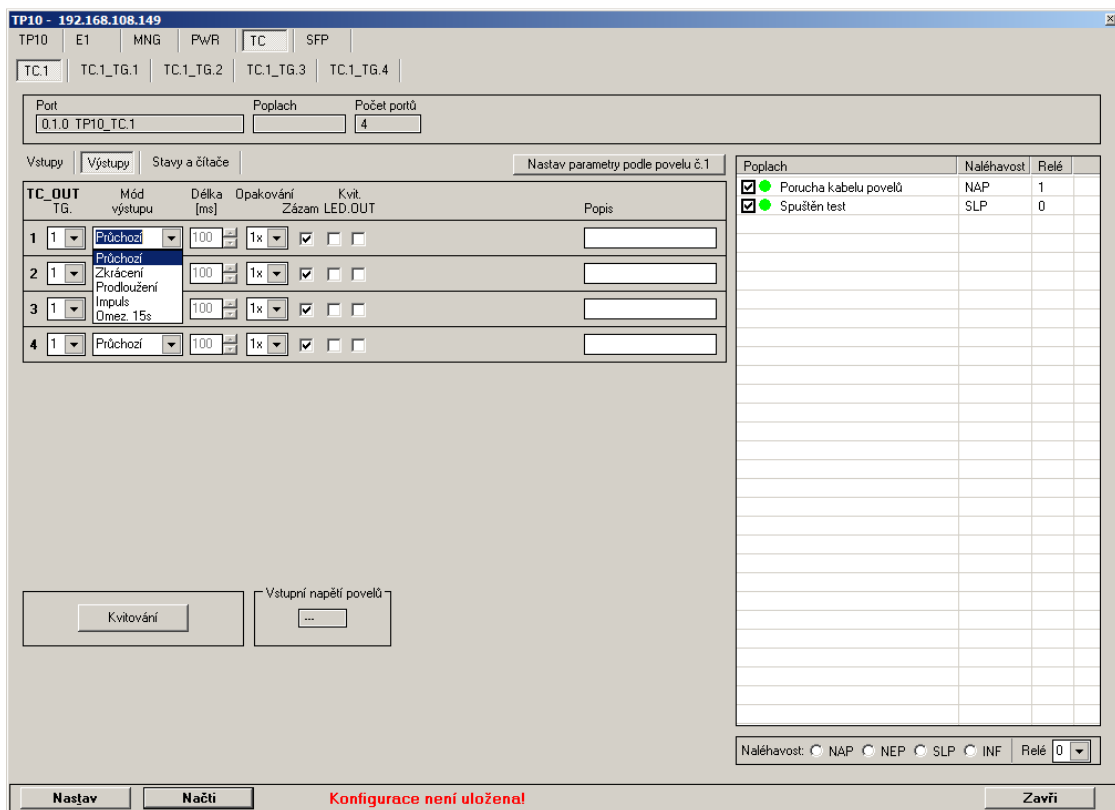
5.5 Rozhraní TC

Konektor TC slouží pro přenos vstupů a výstupů povelů, použitý kabel je označen jako X21 TP 10-GA.



Obr. 5.7: Konektor TC základní menu položka vstupy

Pod záložku vstupy lze nastavovat předzátěž, volba odpojení ihned znamená rychle se opakující povely. Odpojení po čase znamená nastavení povelu s omezenou délkou a řídkým výskytem. Vypnuto znamená trvalou zátěž, volbu kabelu a také funkci připojení kabelu. Pomocí filtrace lze nastavovat časovou filtraci necitlivosti na vstupní povel a to v rozmezí mezi 0 a 63 ms. Citlivost byla během provedených testů byla trvalé nastavena na hodnotu 16 ms. Při neaktivování fixní délky povelu kopíruje vyslaný povel délku vstupního a naopak při aktivování se nastavuje časová délka vyslaného povelu v rozmezí 10ms a 2500 ms, nezávislé na vstupním povelu. Aktivace záznamu, znamená uložení povelu v registru. Při přenosu povelu a pokud je zaškrtnuta položka záznam, zůstane kvit LED svítit (opačně jen problikne dioda na čelním panelu TC konektoru při přenosu povelu).



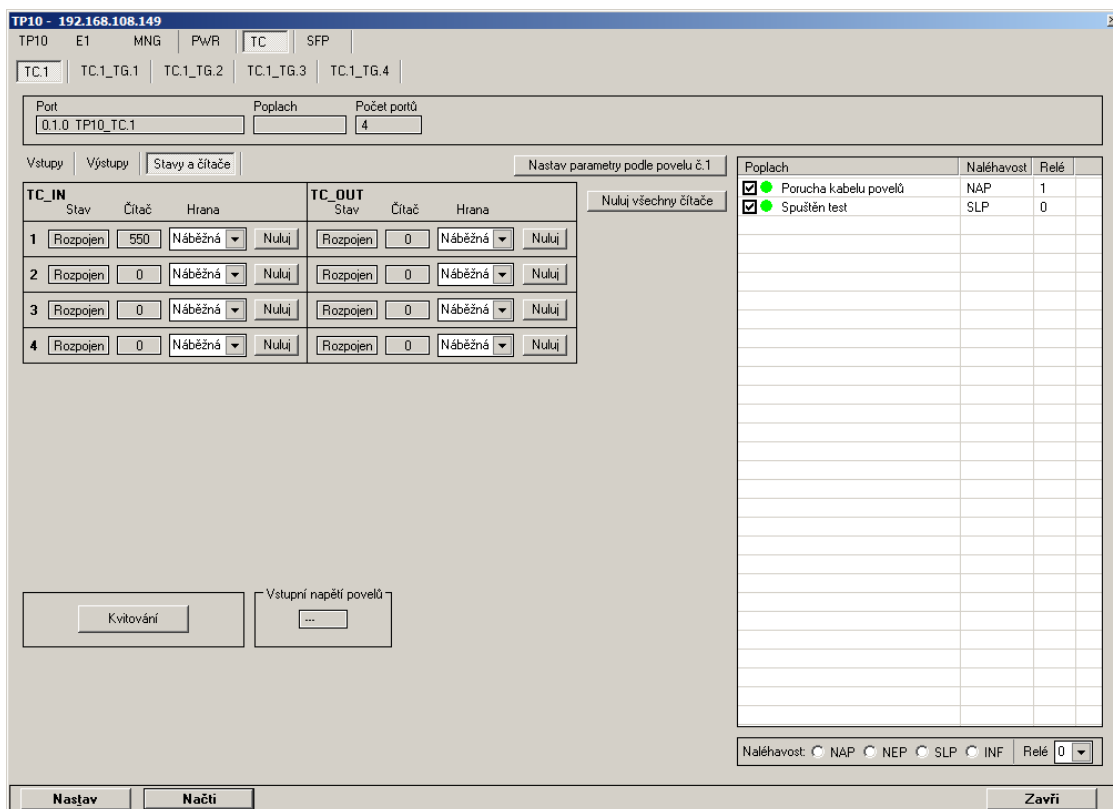
Obr. 5.8: Rozhraní TC položka výstupy

Na obrázku 8 je ukázán výstup TC rozhraní, na kterém se nachází 6 položek (nepočítá se položka popis, která je pro každé rozhraní omezena na 16 znaků). Záznam, délka, kvit LED mají stejné funkce jako u vstupu. Položka opakování potvrzuje správnost přeneseného povelu. Mód výstupu lze nastavit na průchozí, zkrácení, prodloužení, impuls a omezení po 15s.

- Průchozí mód – Výstupný a přijímaný povel jsou stejné
- Zkrácený mód – Omezena délka povelu
- Prodloužený mód – Prodloužena délka povelu podle nastávané časové délky

- Impuls – Délka povelu má pevnou nastavenou časovou délku
- Omezení po 15 sekundách – Omezena délka povelu na 15s

Dalšími důležitými záložkami TC rozhraní jsou stavy a čítače, kde lze načíst počet odeslaných případně přijatých povelu podle toho, zda je zařízení TP určeno pro příjem nebo vysílání povelových impulsů.

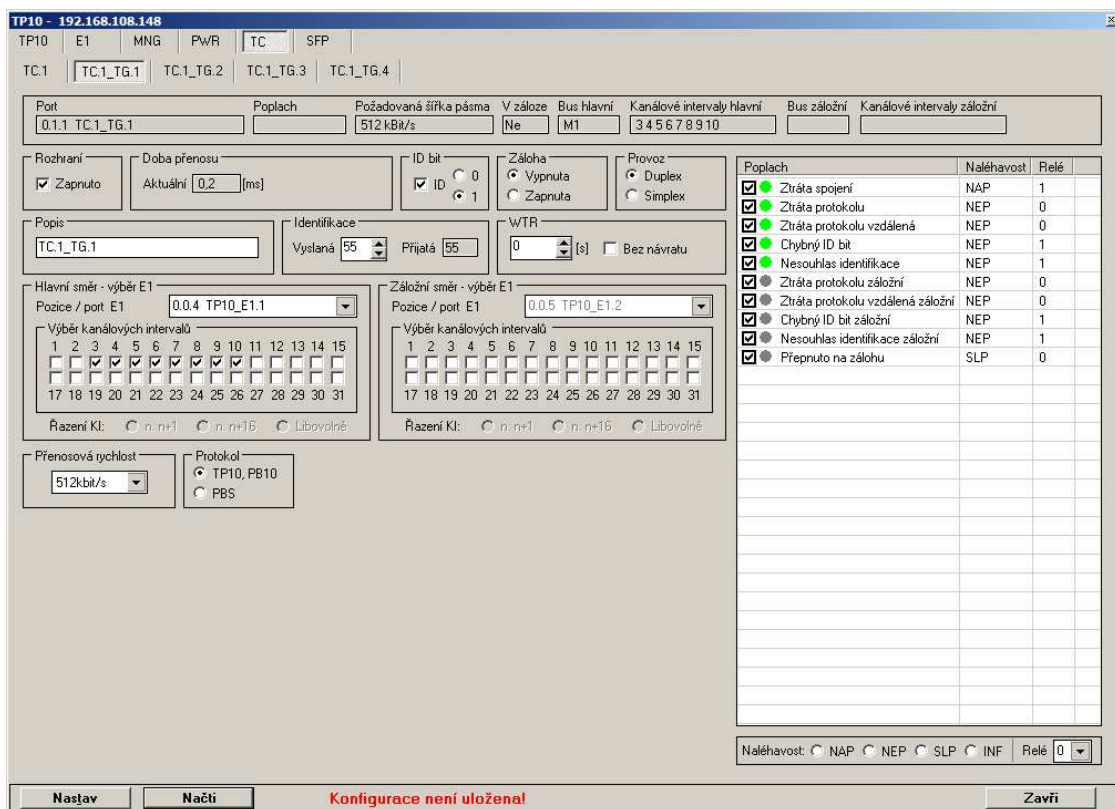


Obr. 5.9: Položka stavy a čítače

Na záložce se může zvolit hrana která se bude čítat. Žádná hrana znamená, že je čítač vypnut. Podle volby hrany může čítač reagovat na náběžnou, sestupnou nebo na obě hrany impulsu. Spojen stav signalizuje přítomnost napětí, tlačítkem „nuluj“ se nuluje povelový čítač.

5.6 TC_1 TG. 1-4

Záložka TC1_TG.1-4 je důležitá položka, na které je možné nastavovat přenosovou rychlost, přičemž maximální přenosová rychlost je 512 kbit/s. Rozhraní používá rámec PCM 30, podle zvolené rychlosti rámce se nastavuje automaticky jeden až osm kanálových intervalů. Důležitá poznámka je, že obě zařízení pro přenos povelu musí mít stejné zvolené kanálové intervaly, jinak dojde k rozpadu spojení, zároveň musí mít stejnou rychlost PCM 30 rámce (pokud například pro rychlost rámce 64 kbit/s na jednom zařízení TP 10 bude zvolen pátý kanálový interval, tak i na protějším zařízení TP 10 musí být zvolen pátý kanálový interval PCM rámce). Kanálové intervaly lze volit libovolně a při větší přenosové rychlosti nemusí být kanály řazený vedle sebe. Jelikož zařízení TP10 má čtyři aktivní vstupy a výstupu, tak je stejný počet i rozhraní TC_TG. Z toho vyplývá, že zařízení TP 10 umožňuje poslat povelů do čtyř směru.



Obr. 5.10: Záložka TC1_TG 1

Popis jednotlivých položek je následující:

- Doba přenosu – Informuje o doby přenosu v jednotkách ms
- Rozhraní – Stejně jako u ostatních rozhraní je nutné zapnout
- ID bit – Na protějším stranách musí být nastaven na rozdílné hodnoty 1 nebo 0

- Provoz – Volba duplexního nebo simplexního provozu
- Identifikace – Umožňuje označit spojení číslem 0 až 254 (přijata na protější straně slouží k ověření správnosti propojení)
- WTR – V případě záložního spojení označuje dobu návratu do hlavního spojení, zaškrtnutý bez návratů znamená, vypnout funkci návratu do hlavního spojení.
- Filtrace ztráty spojení – Pasivita při výpadku spojení do nastaveného času (o až 100 ms).
- Přenosová rychlost – Volba rychlosti celého rámce 64, 128, 256 a 512 kbit/s
- Protokol – Kompatibilita se zařízení TP10, PB10 nebo PBS
- Záloha – Zapnout záložní spojení

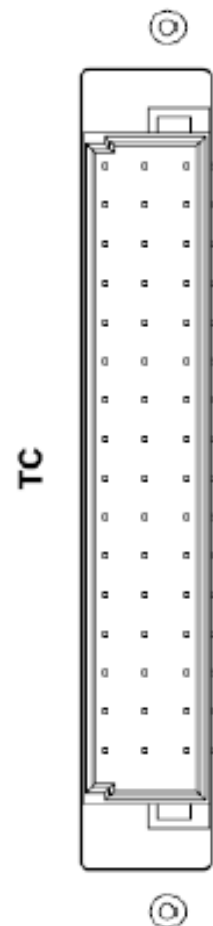
Ztráta spojení	Ztrátovost spojení při přenosu povelu
Ztráta protokolu	Informuje o ztrátě při přenosu
Ztráta protokolu vzdálená	Ztráta protokolu ze vzdáleného konce
Chybný ID bit	Nebyla nastavena různá hodnota ID bitu na zařízení
Nesouhlas identifikace	Blokován přenos protože nesouhlasí identifikace na zařízení
Ztráta protokolu záložní	Informuje o ztrátě při přenosu
Ztráta protokolu vzdálená záložní	Ztráta protokolu ze vzdáleného konce
Chybný ID bit záložní	Nebyla nastavena různá hodnota ID bitu na zařízení – alarm pro záložní směr
Nesouhlas identifikace záložní	Blokován přenos protože nesouhlasí identifikace na zařízení - záloha
Přepnuto na zálohu	Informuje o přenosu přes zálohu

Tab. 5.3: Význam alarmů u záložky TCI_TG.1

Povelová část zařízení obsahuje:

- TC-sdružený konektor pro povel
- ERR1, ERR2 – signalizace poruchy
- Obvod přepět'ové ochrany
- Předzátěž - zvýšení odolnosti proti rušení
- Volba jmenovitého vstupního napětí
- Prahové napětí
- Galvanické oddělení vstupů
- Sipínač s FET tranzistorem
- Spínací optorelé
- Rozpínací optorelé

TM10 / TP4 - TC konektor		X21 - ukončující svorkovnice		
		X21 - TP10		X21 - TP4
název kabelu			k_X21_TP10-GA	k_X21_TP4-GA
kód kabelu			469K121	469K122
název kabelu	pin		pin	pin
vstup 1	a2	TC_IN.1(+)	6	6
	a4	TC_IN.1(-)	7	7
vstup 2	a6	TC_IN.2(+)	8	8
	a8	TC_IN.2(-)	9	9
vstup 3	a10	TC_IN.3(+)	10	10
	a12	TC_IN.3(-)	11	11
vstup 4	a14	TC_IN.4(+)	12	12
	a16	TC_IN.4(-)	13	13
vstup 5	a18	TC_IN.5(+)	14	
	a20	TC_IN.5(-)	15	
vstup 6	a22	TC_IN.6(+)	16	
	a24	TC_IN.6(-)	17	
Kvitovací vstup	a26	TC_ACK(+)	27	15
	a28	TC_ACK(-)	28	16
	a30	NC		
	a32	NC		
vstup 7	c2	TC_IN.7(+)	18	
	c4	TC_IN.7(-)	19	
vstup 8	c6	TC_IN.8(+)	20	
	c8	TC_IN.8(-)	21	
vstup 9	c10	TC_IN.9(+)	22	
	c12	TC_IN.9(-)	23	
vstup 10	c14	TC_IN.10(+)	24	
	c16	TC_IN.10(-)	25	
výstup 7	c18	TC_OUT.7(+)	42	
	c20	TC_OUT.7(-)	43	
výstup 8	c22	TC_OUT.8(+)	44	
	c24	TC_OUT.8(-)	45	
výstup 9	c26	TC_OUT.9(+)	46	
	c28	TC_OUT.9(-)	47	
výstup 10	c30	TC_OUT.10(+)	48	
	c32	TC_OUT.10(-)	49	
výstup 1	e2	TC_OUT.1(+)	30	18
	e4	TC_OUT.1(-)	31	19
výstup 2	e6	TC_OUT.2(+)	32	20
	e8	TC_OUT.2(-)	33	21
výstup 3	e10	TC_OUT.3(+)	34	22
	e12	TC_OUT.3(-)	35	23
výstup 4	e14	TC_OUT.4(+)	36	24
	e16	TC_OUT.4(-)	37	25
výstup 5	e18	TC_OUT.5(+)	38	
	e20	TC_OUT.5(-)	39	
výstup 6	e22	TC_OUT.6(+)	40	
	e24	TC_OUT.6(-)	41	
Poruchový výstup ERR.1	e26	TC_ERR.1(+)	1	1
	e28	TC_ERR.1(-)	2	2
Poruchový výstup ERR.2	e30	TC_ERR.2(+)	3	3
	e32	TC_ERR.2(-)	4	4
RL.1 ALARM	1	RL.1(C)	51	27
	2	RL.1(NO)	52	28
	3	RL.1(NC)	53	29
uzemnění			5	5
uzemnění			26	14
uzemnění			29	17
uzemnění			50	26

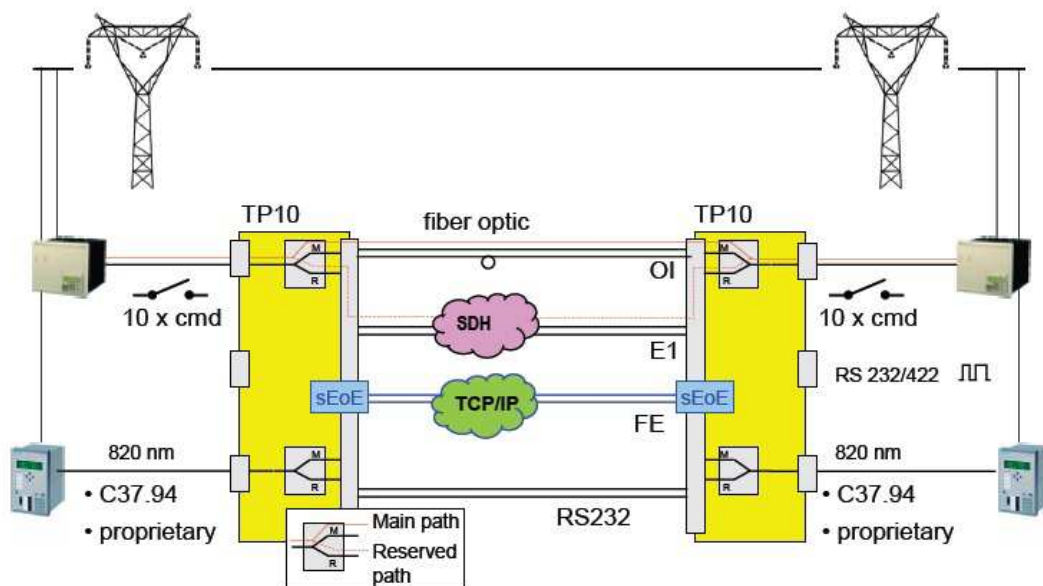


Obr. 5.11: Popis pinů konektoru TC [3]

Další záložkou hlavního menu je TP , kde je možné nastavit režim synchronizace, případně prioritu. Pro optické linkové spoje slouží dva konektory SFP. SFP rozhraní umožňuje přenos E1 přes optické spojení. Optické rozhraní FO.1 s vlnovou délkou se používá pro připojení diferenciatní ochrany, a maximální možná vzdálenost připojení je 4,5 km.

5. Použití zařízení TP10

Zařízení TP 10 je používáno především v energetických soustavách s vysokým napětím 110 kV, kde slouží použito pro budování cest mezi ochranami vedení. Kromě již zmíněného přenosu povelů a signálu, umožňují zařízení přenos fáze 50/60 Hz pro řízení energetických systémů. V těchto soustav je kladen důraz na spolehlivost přenosu signálu ochran. Typická aplikace je ukázána na následujícím obrázku.



Obr. 6.1: Aplikace zařízení TP 10 [3]

Ochranou se v energetických systémech rozumí zařízení, které oddělí poruchovou část sítě od ostatní funkční části. Vzhledem k tomu, že sekundární hodnoty napětí a proudu jsou odrazem primárních hodnot, tím ochrana okamžitý stav primárních hodnot v místě připojení na chráněném zařízení [6]. V obvodech s vysokým napětím VVN jsou vysoké požadavky na přenosovou rychlost, selektivitu a přesnost ochrany. Rychlost je důležitá proto, aby se co nejrychleji vypnulo porušené zařízení a tím se minimalizovaly případné škody. Funkce „selektivita“ odděluje porušené zařízení a funkční části sítě (tím se myslí nevypnutí okolních bezporuchových částí energetických soustav). Součástí ochrany je i lokátor poruch a funkce „přesnost“ zajišťuje přesné určení vzdálenosti poruch. Na základě změny velikosti silových veličin, které jsou neustále monitorovány, vytvoří ochrana algoritmus. Vnitřní algoritmus musí být přizpůsoben parametrům chráněného zařízení, aby se zajistila správná funkčnost ochrany.

Podle monitorované veličiny lze způsob ochrany rozdělit na:

- Nadproudové ochrany
- Proudové rozdílové a srovnávací ochrany
- Impedanční ochrany

Ochranná zařízení, u kterých jejich výstup závisí na velikosti impedance, patří pod impedanční ochranu. Mezi typy impedanční ochrany patří distanční ochrana, u které je v místě instalaci ochrany důležité zjistit velikost impedance. Existují i další typy jako jsou například ochrana reagující na stabilní a nestabilní kývání v síti, ochrana proti asynchronním chodům chráněného zařízení apod.

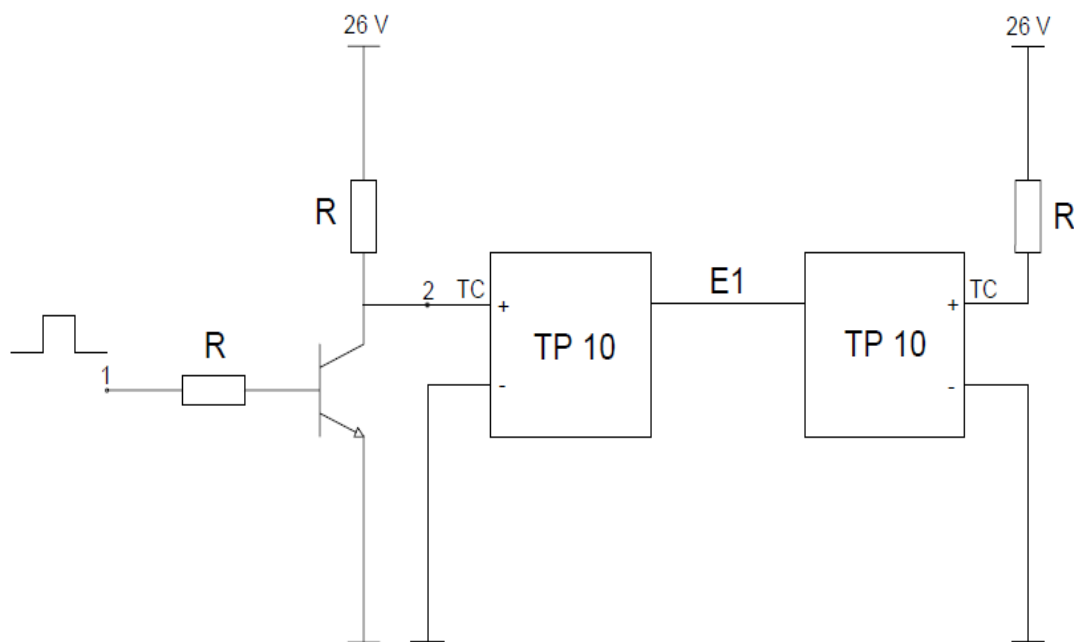
Distanční ochrany mají na základě naměřené impedance možnost zjistit vzdálenost poruchy od místa ochrany.

Proudová rozdílová ochrana je založena na výpočtu algoritmu pomocí rozdílu dvou amplitudových nebo fázových proudových veličin. U digitálních ochrany se pracuje s absolutními hodnotami proudových fázorů. Rozdíl proudu, který vyvolá chybné působení ochrany, může nastat, kvůli různým nasycením proudu chráněného prvku. Dále může být rozdíl proudu vyvolán v okamžiku jednostranného zapnutí transformátoru, při kterém nastanou proudové nárazy. Z těchto důvodů je ochranný systém koncipován tak že dovoluje omezenou hodnotu rozdílového proudu, přičemž nevyvolává nežádoucí působení ochrany na vypínání.

Pokud je důvod vzniku poruch náhlé zvýšení proudu nad omezenou hladinu, tak se tomuto typu ochrany se říká nadproudová ochrana. V případě překročení hladiny se vypíná chráněné zařízení.

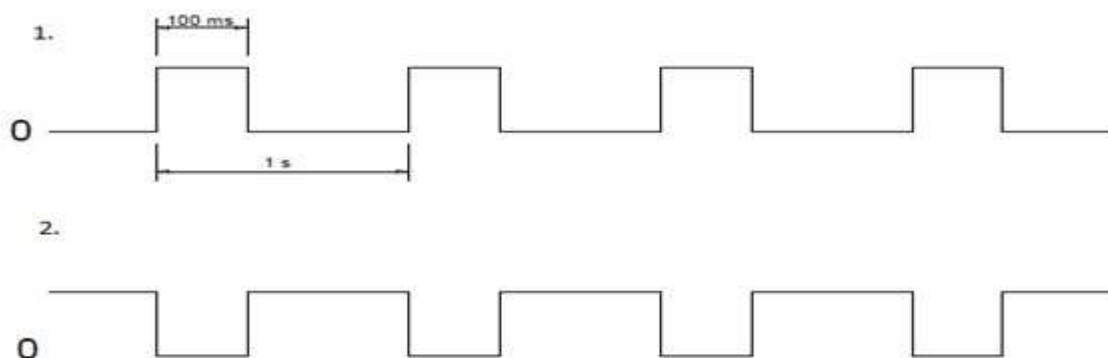
6. Měření zpoždění signálů při přenosu povelů

Za účelem tohoto měření je nutné použít následující přístroje: zdroj napětí, osciloskop, dva krát zařízení pro přenos povelů, generátor impulzů. V této fázi se testoval přenos povelů bez jakéhokoliv typu rušení, šumu apod. Přístroje byly zapojeny podle následujícího obrázku, s tím že jeden kanál osciloskopu se připojuje na vstup TC rozhraní vysílacího zařízení TP10 a druhý kanál osciloskopu na vstup TC rozhraní přijímacího zařízení.



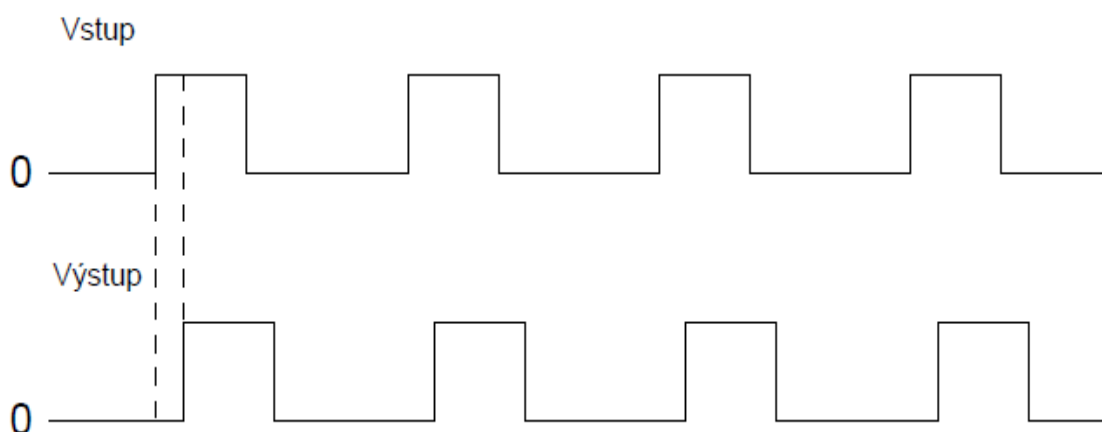
Obr. 7.1: Schéma zapojení zařízení pro přenos povelů

Na zařízení TP 10 je nutné přivést napětí větší než 24 V, aby byl přenos umožněn. Pomocí zdroje napájení je na obou zařízeních TP 10 přivedeno napájení 26 V přes odpory v hodnotě 2,7 k Ω . Povelový signál je přiveden přes odpor R, také o hodnotě 2,7 k Ω , a přes bipolární tranzistor na vstup zařízení TP 10. Doba trvání periody signálu je specifikovaná na 1s, z toho šířka impulzu 100 ms.

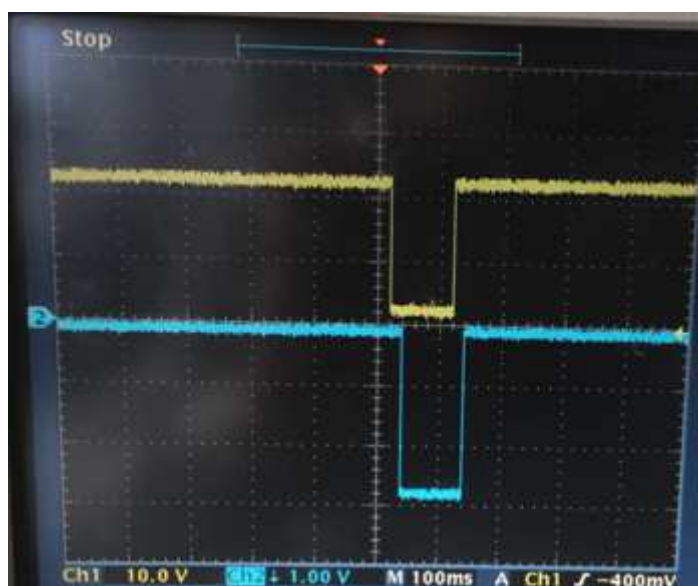


Obr. 7.2: Působení tranzistoru na povelový signál

Bipolární tranzistor se společným emitorem působí na signál jako invertor a proto se na vstupu do zařízení TP10 dostává sled impulzů naznačených na obrázku číslo 2. Jako generátor povelových impulzů byl použit generátor Agilent, na kterém bylo nutné nastavit frekvenci 1 Hz, dále amplitudu špička-špička na 5 V a šířku pásma na 900 ms (pro pulz kladné polarity 100 ms v bodě 2). V tomto měření se případně může nastavit šířka impulzů na 100 ms s tím, že tvar impulzů bude opačný. Pomocí dohledového nástroje LMS se na zařízení TP10 nastavuje přenosová rychlost rámce PCM 30 a počet opakování na výstupu rozhraní TC na protějšku. Zařízení TP 10 jsou mezi sebou propojena kříženým kabelem E1 na portech E1.1. Na obou zařízeních TP 10 je nutné nastavit stejnou přenosovou rychlost rámce PCM 30, aby byl přenos povelových impulzů uskutečněn (nutné je také na obou zařízeních nastavit stejné kanálové intervaly). Zpoždění přenosu impulzů se odečítá přímo na osciloskopu. Tvar impulzů vypadá podle obrázku 3. Měření je nutné provést pro různé přenosové rychlosti rámce PCM 30, s tím, že pro každou přenosovou rychlost je nutné na výstupu konektoru zařízení TP 10 nastavit různé možnosti opakování.



Obr. 7.3: Měření zpoždění Δt



Obr. 7.4: Měření zpoždění signálu pomocí osciloskopu

7.2 Výsledek měření

Počet záznamů	1	2	3	4	5	Průměr	Směr. odchylka
Zpoždění [ms] při opakování 1 krát	17,5	17,8	17,7	18,03	18,32	17,87	0,28
Zpoždění [ms] při opakování 2 krát	19,06	19,41	18,65	18,98	19,12	19,04	0,24
Zpoždění [ms] při opakování 4 krát	20,58	20,63	21,23	21,43	20,72	20,92	0,35
Zpoždění [ms] při opakování 8 krát	24,93	25,32	24,51	24,82	25,12	24,94	0,27

Tab. 7.1: Měření zpoždění přenosu povelů při přenosové rychlosti 64 kbit/s

Počet záznamů	1	2	3	4	5	Průměr	Směr. odchylka
Zpoždění [ms] při opakování 1 krát	17,5	17,8	17,7	18,03	18,32	17,87	0,15
Zpoždění [ms] při opakování 2 krát	19,06	19,41	18,65	18,98	19,12	19,04	0,1
Zpoždění [ms] při opakování 4 krát	20,58	20,63	21,23	21,43	20,72	20,92	0,13
Zpoždění [ms] při opakování 8 krát	24,93	25,32	24,51	24,82	25,12	24,94	0,13

Tab. 7.2: Měření zpoždění přenosu povelů při přenosové rychlosti 128 kbit/s

Počet záznamů	1	2	3	4	5	Průměr	Směr. odchylka
Zpoždění [ms] při opakování 1 krát	17,5	17,8	17,7	18,03	18,32	17,87	0,06
Zpoždění [ms] při opakování 2 krát	19,06	19,41	18,65	18,98	19,12	19,04	0,11
Zpoždění [ms] při opakování 4 krát	20,58	20,63	21,23	21,43	20,72	20,92	0,09
Zpoždění [ms] při opakování 8 krát	24,93	25,32	24,51	24,82	25,12	24,94	0,09

Tab. 7.3: Měření zpoždění přenosu povelů při přenosové rychlosti 256 kbit/s

Počet záznamů	1	2	3	4	5	Průměr	Směr. odchylka
Zpoždění [ms] při opakování 1 krát	17,5	17,8	17,7	18,03	18,32	17,87	0,07
Zpoždění [ms] při opakování 2 krát	19,06	19,41	18,65	18,98	19,12	19,04	0,12
Zpoždění [ms] při opakování 4 krát	20,58	20,63	21,23	21,43	20,72	20,92	0,005
Zpoždění [ms] při opakování 8 krát	24,93	25,32	24,51	24,82	25,12	24,94	0,04

Tab. 7.4: Měření zpoždění přenosu povelů při přenosové rychlosti 512 kbit/s

7.3 Závěr měření

Z naměřených výsledků je vidět, že čím je vyšší přenosová rychlost a zároveň, čím je menší počet opakování vyslání posloupnosti impulzů tím je kratší doba zpoždění. Z naměřených hodnot byl pro každé opakování na výstupu vypočítán aritmetický průměr hodnot a s pomocí průměrů byla určena směrodatná odchylka σ .

Směrodatná odchylka byla spočítána pomocí vztahu:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i^N \left(x_i - \bar{x} \right)^2}$$

Doba přenosu je výrobcem stanovena na 3 ms pro přenosovou rychlost 64 kbit/s (opakování jeden krát), na 2 ms pro přenosovou rychlost 128 kbit/s, na 1,5 ms pro 256 kbit/s a na 1 ms pro 512 kbit/s.

7. Zabezpečení přenosu

8.1 Teoretický úvod

Zabezpečením přenosu se rozumí schopnost zařízení zamezit výskytu nežádoucích povelů vlivem šumu v době, kdy není generován žádný povel. Nežádoucí povel je takový povel, který se vyskytne na přijímací stráně na určitou dobu, než je specifikovaná doba přenosu a chybný se tedy bude projevovat jako opravdový. U některých systémů může nežádoucí povel vyvolat nežádoucí akce. Příkladem takovýchto systémů je systém s blokováním, kde může nastat situace, že dojde k chybnému vypnutí nebo ke zpoždění vypnutí. Metoda měření zabezpečení se trochu liší u analogových a digitálních systémů. U digitálního systému se pro testování zabezpečení přenosu používá shluk náhodných chyb. Je to nutné, aby se otestovalo, zda zařízení může pracovat i při bitové chybovosti. V případě, že digitální zařízení pro přenos povelů obsahuje blokovací obvody, musí se nastavit dostatečný interval mezi shluky chyb. Cílem je stanovit pravděpodobnost výskytu nežádoucího povelu, která se počítá jako poměr počtu přijatých nežádoucích povelů k počtu vyslaných chybových shluků.

$$P_{uc} = \frac{N_{uc}}{N_b} \quad [8.1]$$

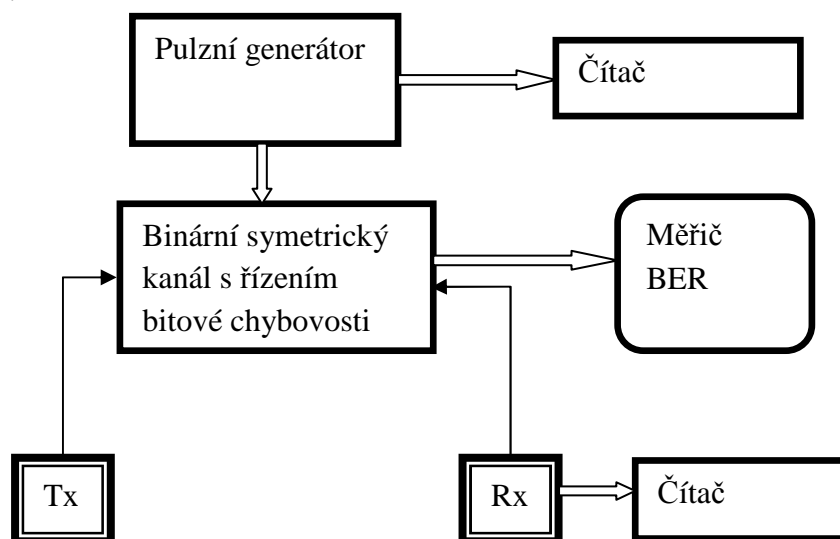
N_{uc} - počet nežádoucích povelů

N_b - počet vyslaných shluků

P_{uc} - pravděpodobnost výskytu nežádoucích povelů

Bezpečnost přenosu se počítá jako: $1 - P_{uc}$

Podle normy jsou při definované přenosové rychlosti shluky chyb přiváděny do kanálu v definovaných periodách. Doba trvání shluků by měla být 200 ms a interval mezi shluky by měl být dostatečně dlouhý, pokud zařízení obsahuje blokovací mechanismus. Měření výskytu nežádoucích povelových impulzů má být provedeno v závislosti na bitové chybovosti BER.

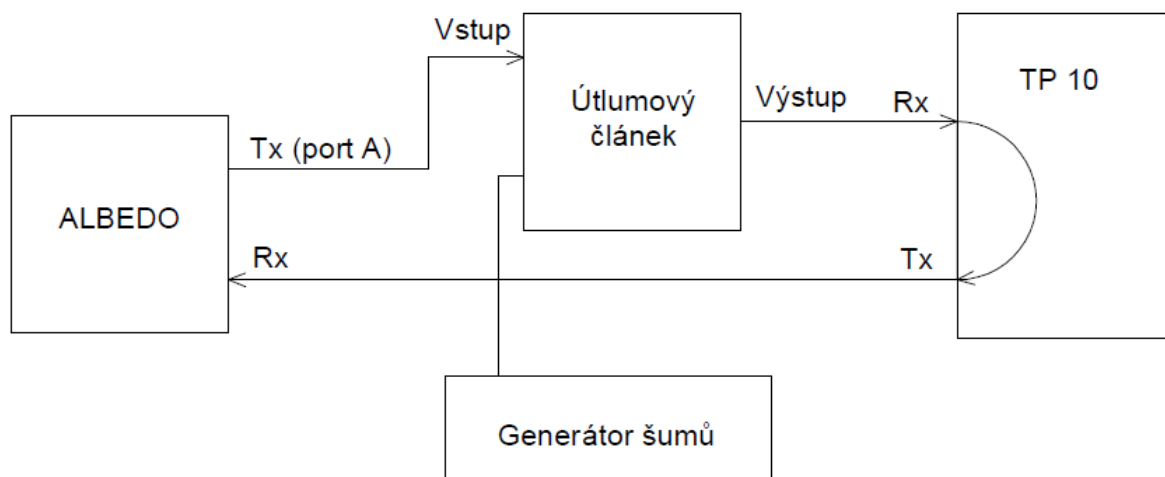


Obr. 8.1: Doporučené měření bezpečnosti přenosu povelů

8.2 Měření bitové chybovosti

Pro měření bezpečnosti byl jako simulátor posloupnosti shluků použit generátor s bílým šumem. Na generátoru byla nastavena hodnota délky šumu 200 ms a to tak, že se sekvence vzorku s délkou 10 ms nastavila s počtem opakování 20 cyklů. Jako simulátor vedení byl použit útlumový článek a hodnota útlumu byla nastavena na 6 dB. Na zařízení byla přenosová rychlost kanálu pro přenos povelů nastavena na hodnotu 64 kbit/s. Nejdříve bylo potřeba změřit bitovou chybovost pro různé amplitudy šumu. Pro měření bitové chybovosti byl použit přístroj Albedo. Na přístroji Albedo je možné použít port A nebo port B (oba jsou typu RJ 45) a je zde dále přístroji je nutné nastavit generování posloupnosti. Při této zkoušce byla nastavena na hodnotu 2^{23} PRBS (pseudonáhodná testovací posloupnost). Režim přístroje je nutné nastavit na endpoint, dále je nutné vybrat typ PCM rámce na PCM 30C a na vybraném portu nastavit na vysílacím a přijímacím páru režim s využitím celého rámce.

Na zařízení pro přenos povelů TP 10 je nutné nastavit vzdálenou smyčku.



Obr. 8.2: Schéma zapojení přístrojů při měření bitové chybovosti

Bitová chybovost, označovaná anglický BER, je hlavním kritériem stanovení kvality přenosu digitálního signálu. Definovaná je poměrem chybně přijatých bitů ku celkovému počtu přijatých bitů za určitou dobu měření. [1]

$$\text{BER} = \frac{m_{\text{ch}}}{v_p * t_m} \quad [8.2]$$

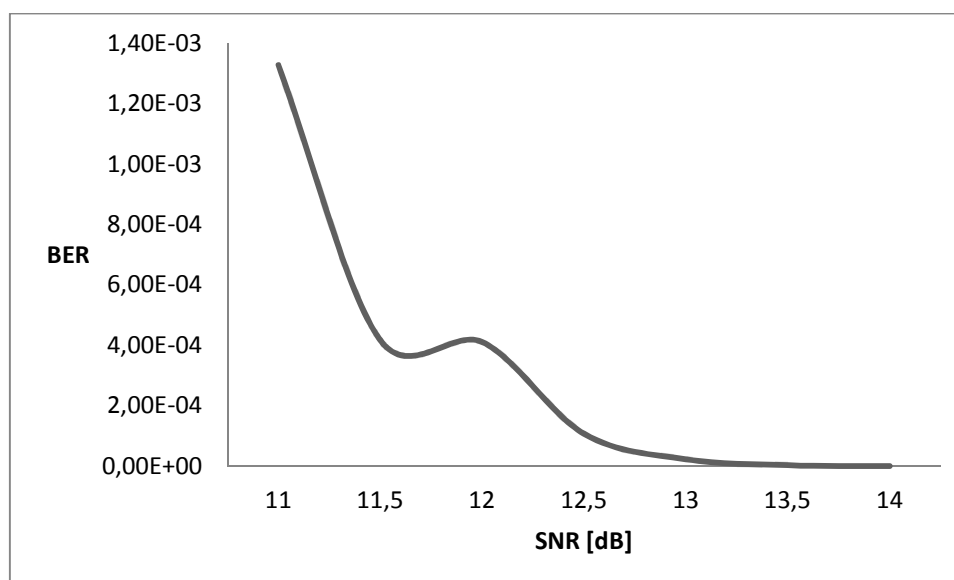
Z důvodu toho, že se chyby objevují náhodně, musí se vyhodnocovat delší dobu. Příčinou vzniku chybovosti jsou různé typy šumu, rušení, nedostatečný odstup signálu od šumu apod.

Nastavená amplituda generátoru šumu[Vpp]	Bitová chybovost BER
1,5	$8,247 \cdot 10^{-7}$
1,6	$7,196 \cdot 10^{-6}$
1,7	$1,713 \cdot 10^{-5}$
1,9	$5,682 \cdot 10^{-5}$
2	$1,005 \cdot 10^{-4}$
2,3	$3,824 \cdot 10^{-4}$
2,5	$7,580 \cdot 10^{-4}$
2,7	$1,312 \cdot 10^{-3}$
2,9	$2,058 \cdot 10^{-3}$
3	$2,698 \cdot 10^{-3}$
3,3	$4,732 \cdot 10^{-3}$
3,5	$6,346 \cdot 10^{-3}$

Tab. 8.1: Naměřené hodnoty chybovosti v závislosti na amplitudě šumu

8.4 Měření bitové chybovosti ve vztahu se SNR

Za účelem simulace rušivého vedení pomocí opakováče bylo naměřeno při jakých hodnotách odstupu signálu od šumu prokazovalo zařízení TP 10 bitovou chybovost. Jako simulátor vedení byl použit opakováč TESLA 12 XZ 089 s útlumem 4 dB. Pro měření bitové chybovosti byl použit měřicí přístroj Albedo Telecom AT-2048. Postup byl stejný jako při simulaci vedení pomocí generátoru šumu a útlumového článku.

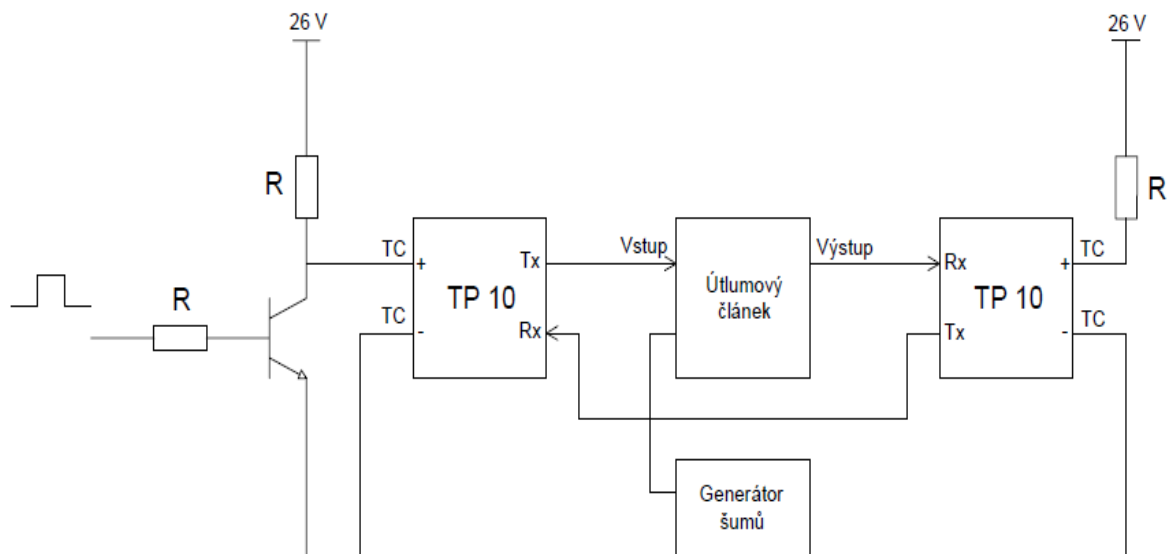


Graf. 8.1: Závislost výskytu chybovosti BER na SNR

Z grafu je zřejmý, následující vztah, čím vyšší hodnota SNR, tím menší hodnota bitové chybovosti. V případě hodnoty SNR 11 dB dochází k rozpadu spojení, takže požadavkem pro dobré parametry linky, je aby hodnota SNR byla co větší. Tento postup by se mohl použít i pro zjištění bezpečnosti zařízení TP 10 ale, podle normy IEC 60834-1 je požadováno aby se test bezpečnosti pro digitální zařízení prováděl pomocí generátoru šumu.

8.5 Měření bezpečnosti při naměřených hodnotách BER

Po změření bitové chybovosti a zaznamenání amplitud šumu, při kterém dochází k bitové chybovosti, bylo možné provést měření bezpečnosti zařízení pro přenos povelů. Postup byl takový, že byla nastavena určitá hodnota amplitudy šumu, který simuloval shluky. Na přijímacím zařízení pro přenos povelu se sledovalo, zda dojde k výskytu nežádoucího povelu za stanovenou dobu měření. Doba měření byla stanovena na 60s a každou sekundu byl vyslán jeden shluk.

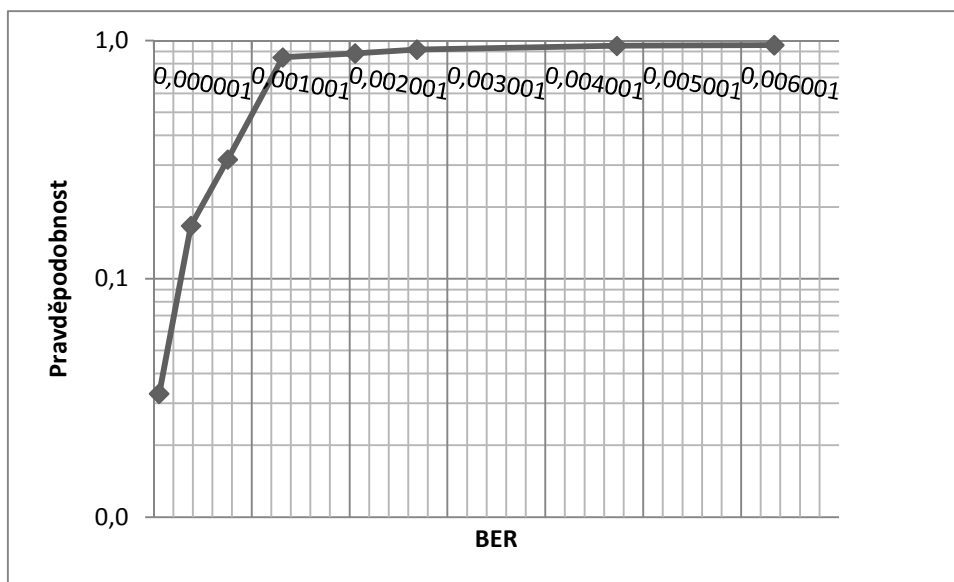


Obr. 8.3: Schéma zapojení přístroje pro měření bezpečnosti

Výsledek měření bezpečnosti v závislosti na BER

Amplituda[V]	BER	Počet shluků	Počet než. povelů	Pravděpodobnost	Bezpečnost
3,5	$6,35 \cdot 10^{-3}$	60	58	0,967	0,033
3,3	$4,73 \cdot 10^{-3}$	60	57	0,95	0,05
3	$2,70 \cdot 10^{-3}$	60	55	0,917	0,083
2,9	$2,058 \cdot 10^{-3}$	60	53	0,883	0,116
2,7	$1,31 \cdot 10^{-3}$	60	51	0,85	0,15
2,5	$7,58 \cdot 10^{-4}$	60	19	0,317	0,683
2,3	$3,824 \cdot 10^{-4}$	60	10	0,167	0,833
1,9	$5,68 \cdot 10^{-5}$	60	2	0,033	0,966
1,6	$7,20 \cdot 10^{-6}$	60	0	0	1
1,5	$8,25 \cdot 10^{-7}$	60	0	0	1

Tab. 8.2: Naměřené hodnoty při výskytu nežádoucích povelů



Graf. 8.2: Graf závislosti pravděpodobnosti výskytu nežádoucích povelů podle naměřených výsledků

Z výsledku měření bezpečnosti je vidět že se při bitové chybovosti objevují nežádoucí povely, takovým způsobem, že, čím je bitová chybovosti větší, tím je vyšší počet nežádoucích povelů. V tabulce 2 jsou uvedené výsledky pro opakování jeden krát na výstupu TC konektoru s přenosovou rychlost 64 kbi/s. U nastavení opakování dva a více krát, při stejných hodnotách BER, je pravděpodobnost výskytu nežádoucích povelových impulzů nižší než u opakování jeden krát.

Výskyt nežádoucích povelů je nejčastěji mezi hodnotami BER řadově 10^{-3} a 10^{-4} , čímž je dle normy IEC 60834-1 splněno.

8. Provozní spolehlivost

9.1 Teoretický úvod

Provozní spolehlivost znamená schopnost zařízení přijmout platný povel za přítomnosti rušení. Vyslaný povel se považuje za chybějící v případě, že na přijímající straně chybí stav povelového signálu nebo je doba signálu kratší než je stanovena doba trvání (doba trvání přijatého povelového signálu by měla být stejná jako u vyslaného).

Pro zjištění provozní spolehlivosti zařízení je stanovena metoda měření pomocí aplikace impulzního bílého šumu. Cílem měření je určit pravděpodobnost (P_{mc}) chybějícího povelu a pomocí ní vypočítat provozní spolehlivost podle vztahu:

$$P = 1 - P_{mc} \quad [9.1]$$

Měřením se určuje počet chybějících povelů při různých hodnotách bitové chybovosti (BER). Pravděpodobnost chybějících povelů je dána jako poměr počtu nepřijatých povelů k počtu vyslaných povelů.

$$P_{mc} = 1 - \frac{N_r}{N_t} \quad [9.2]$$

N_t – počet vyslaných povelů

N_r – počet přijatých povelů

Bitová chybovost může způsobit ztrátu synchronizace spojení se zařízením, případně také to, že povely s detekovanou chybovostí nebudou přijaty na přijímající straně. Měření je nutné provést pro různé hodnoty bitové posloupnosti a pro každé nastavení přenosové rychlosti.

Generování šumu musí být spuštěno 10 ms před generováním povelů a také musí skončit ve stejnou dobu jako povel.

9.2 Postup měření

Před začátkem měření pravděpodobnosti chybějícího povelu je nutné změřit bitovou chybovost v závislosti na amplitudě šumu. Měření bitové chybovosti se provádí stejně jako při měření zabezpečení přístroje, akorát délka impulzu šumu byla nastavena na 110 ms. Podle schématu na obrázku 1 byla změřena chybovost.

Požité přístroje k měření chybovosti: Agilent generátor, útlumový článek, Albedo AT-2048 E1.

Na generátoru Agilent je nutné zvolit bílý šum, poté tlačítkem burst nastavit hodnotu frekvence na 100 Hz počet cyklu 11, aby délka impulzního šumu byla 110 ms. Na přístroji Albedo se používá port B, na kterém je nutné nastavit generování bitové posloupnosti. V této práci byla zvolena hodnota 2^{23} PRBS. Dále je přístroj nutné nastavit na režim endpoint a typ rámce rozhraní E1 na PCM30C. Vysílací a přijímací rámec (Tx a RX) je třeba nastavit na typ pattern s tím, že se bude používat celý rámec PCM a ne jen jeden kanálový interval. V sekci result se pak sledují stavy bitové chybovosti BER která je reprezentovaná hodnotou TSE.

Po připojení a správném nastavení měřicích přístrojů se na generátoru šumu mění amplituda a na přístroji Albedo se sleduje, při jaké hodnotě dochází k chybovosti. Doba měření chybovosti byla nastavena na 60 s. Na zařízení TP10 je nutné na portu E1 nastavit vzdálenou smyčku.

Nastavena amplituda generátoru [V]	Bitová chybovost TSE
1,4	0
1,5	$3,481 \cdot 10^{-8}$
1,6	$4,653 \cdot 10^{-6}$
1,7	$4,996 \cdot 10^{-5}$
1,9	$1,86310^{-4}$
2	$2,804 \cdot 10^{-4}$
2,3	$1,479 \cdot 10^{-3}$
2,5	$2,912 \cdot 10^{-3}$
2,7	$5,185 \cdot 10^{-3}$
3	$1,079 \cdot 10^{-2}$
3,2	Ztráta synchronizace

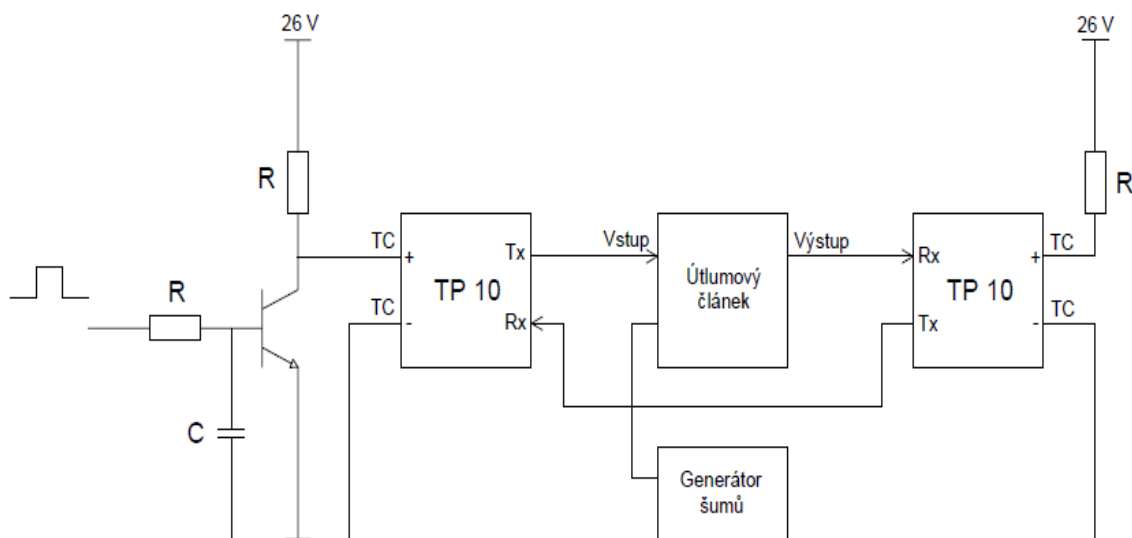
Tab. 9.1: Naměřené hodnoty bitové chybovosti

9.3 Měření spolehlivosti v závislosti na BER

Po naměření bitové chybovosti bylo zjištěno, při jakých hodnotách amplitud generátoru šumu dochází k vzniku chybovosti. Poté pro různé řadové hodnoty chybovosti BER, podle schématu na obrázku číslo 1, měřilo, zda dojde k ztrátám povelových informací.

Při zkoušce je nutné generovat šum před vysláním povelů, čehož lze dosáhnout připojením kondenzátoru mezi odporem a bází bipolárního tranzistoru. Z důvodu, že tranzistor invertuje impuls, je nutné na generátoru nastavit hodnotu časové délky impulsu na 900 ms (celá perioda trvá 1 s). Podle naměřené bitové chybovosti se na generátoru nastavuje požadovaná amplituda. Na obou zařízeních pro přenos povelu se nastavují různé přenosové

rychlosti (důležitá poznámka je že na obou koncích musí být nastavena stejná přenosová rychlost, jinak se povely nepřenesou). Vyslaný shluků 10 ms před vyslaným povel se dosáhlo pomoci RC článku, kde je hodnota odporu 2,7 k Ω a hodnota kondenzátoru 10 μ F (podle vypočtu by přesná hodnota kondenzátoru měla být 12 μ F). Útlumový článek simuluje vedení a na něm byla nastavena hodnota 6 dB.



Obr. 9.1: Schéma zapojení pro zkoušku provozní spolehlivosti

9.4 Výsledek měření

64 (kbit/s)/opakování	Vyslaný povel	Přijatý povel	Pravděpodobnost	Spolehlivost
Opakování 1x	60	49	0,183	0,650
Opakování 4x	60	40	0,333	0,650
Opakování 8x	60	39	0,35	0,650
128(kbit/s)/opakování	Vyslaný povel	Přijatý povel	Pravděpodobnost	Spolehlivost
Opakování 1x	60	35	0,416	0,583
Opakování 4x	60	32	0,466	0,533
Opakování 8x	60	32	0,466	0,533
256(kbit/s)/opakování	Vyslaný povel	Přijatý povel	Pravděpodobnost	Spolehlivost
Opakování 1x	60	21	0,65	0,350
Opakování 4x	60	20	0,667	0,333
Opakování 8x	60	23	6,617	0,383
512(kbit/s)/opakování	Vyslaný povel	Přijatý povel	Pravděpodobnost	Spolehlivost
Opakování 1x	60	5	0,917	0,083
Opakování 4x	60	4	0,933	0,067
Opakování 8x	60	4	0,933	0,067

Tab. 9.2: Provozní spolehlivost pro hodnotu BER 10^{-3}

64 (kbit/s)/opakovaní	Vyslaný povel	Přijatý povel	Pravděpodobnost	Spolehlivost
Opakování 1x	60	60	0	1
Opakování 4x	60	59	0,016	0,983
Opakování 8x	60	56	0,067	0,933
128(kbit/s)/opakovaní	Vyslaný povel	Přijatý povel	Pravděpodobnost	Spolehlivost
Opakování 1x	60	56	0,067	0,933
Opakování 4x	60	56	0,067	0,933
Opakování 8x	60	51	0,15	0,85
256(kbit/s)/opakovaní	Vyslaný povel	Přijatý povel	Pravděpodobnost	Spolehlivost
Opakování 1x	60	51	0,15	0,85
Opakování 4x	60	52	0,133	0,867
Opakování 8x	60	52	0,133	0,867
512(kbit/s)/opakovaní	Vyslaný povel	Přijatý povel	Pravděpodobnost	Spolehlivost
Opakování 1x	60	38	0,367	0,633
Opakování 4x	60	35	0,417	0,583
Opakování 8x	60	37	0,383	0,617

Tab. 9.3: Provozní spolehlivost pro hodnotu BER 10^{-4}

64 (kbit/s)/opakovaní	Vyslaný povel	Přijatý povel	Pravděpodobnost	Spolehlivost
Opakování 1x	60	59	0,0167	0,983
Opakování 4x	60	59	0,0167	0,983
Opakování 8x	60	57	0,05	0,950
128(kbit/s)/opakovaní	Vyslaný povel	Přijatý povel	Pravděpodobnost	Spolehlivost
Opakování 1x	60	59	0,0167	0,983
Opakování 4x	60	58	0,033	0,967
Opakování 8x	60	56	0,067	0,933
256(kbit/s)/opakovaní	Vyslaný povel	Přijatý povel	Pravděpodobnost	Spolehlivost
Opakování 1x	60	55	0,083	0,917
Opakování 4x	60	57	0,05	0,95
Opakování 8x	60	55	0,083	0,917
512(kbit/s)/opakovaní	Vyslaný povel	Přijatý povel	Pravděpodobnost	Spolehlivost
Opakování 1x	60	57	0,05	0,95
Opakování 4x	60	55	0,083	0,917
Opakování 8x	60	54	0,1	0,9

Tab. 9.4: Provozní spolehlivost pro hodnotu BER 10^{-5}

64 (kbit/s)/opakování	Vyslaný povel	Přijatý povel	Pravděpodobnost	Spolehlivost
Opakování 1x	60	60	0	1
Opakování 4x	60	60	0	1
Opakování 8x	60	60	0	1
128(kbit/s)/opakování	Vyslaný povel	Přijatý povel	Pravděpodobnost	Spolehlivost
Opakování 1x	60	60	0	1
Opakování 4x	60	60	0	1
Opakování 8x	60	60	0	1
256(kbit/s)/opakování	Vyslaný povel	Přijatý povel	Pravděpodobnost	Spolehlivost
Opakování 1x	60	59	0,0167	0,983
Opakování 4x	60	59	0,0167	0,983
Opakování 8x	60	58	0,033	0,967
512(kbit/s)/opakování	Vyslaný povel	Přijatý povel	Pravděpodobnost	Spolehlivost
Opakování 1x	60	58	0,033	0,967
Opakování 4x	60	58	0,033	0,967
Opakování 8x	60	58	0,033	0,967

Tab. 9.5: Provozní spolehlivost pro hodnotu BER 10^{-6}

9.5 Hodnocení výsledku měření

Podle výsledku měření při vyšší hodnotě bitové chybovosti dochází ke ztrátám povelových informací, pravděpodobnost výskytu chybějících povelů. Při bitové chybovosti řádově 10^{-5} a níže je provozní spolehlivost zařízení vysoká. Počet opakování na výstupu neměl velký vliv na spolehlivost přenosu, ale při vyšší přenosové rychlosti PCM rámce spolehlivost provozu je nižší.

9. Měření fázového chvění

10.1 Teoretický úvod

Fázový neklid neboli fázové chvění je parametr digitálních signálů, který je dle ITU definován jako krátkodobé nekumulativní odchylky charakteristických okamžiků digitálních signálů od jejich ideálních poloh v čase. Při přenosu digitálních signálů přenosovými systémy se jednotlivé části signálu přenášejí v pravidelném časovém intervalu se stejnou vzdáleností mezi sousedními signálovými impulzy. Ve skutečnosti při přenosu signálů digitálními přenosovými systémy dochází ke kolísání fáze a tím se mění časová poloha středu impulzů, pomocí které se rozpoznávají binární hodnoty. Při testování odolnosti digitálního systému vůči fázovému neklidu je potřeba zjistit maximální možnou hodnotu amplitudy fázového neklidu, vyjádřenou bezrozměrně nebo v sekundách v násobcích jednotkového intervalu, při kterém nedochází ke zkreslení tvaru impulsů ani se neobjevuje bitová chybovost a slipy. Jednotkový interval se označuje anglickou zkratkou UI (Unit Interval) a představuje interval mezi dvěma vrcholy sousedních impulsů. Podle rychlosti kolísání fáze se rozlišují dva termíny:

- Jitter - Rychlé kolísání fáze s 10 a více kmitů za sekundu
- Wander – Pomalé kolísání fáze s kolísáním pomalejším než 10 kmitů za sekundu

Jittery se dle vzniku dělí: jitter taktování, rozdílový jitter, čekací jitter, systematický jitter, nesystematický jitter, a dále jittery které vznikají v sítích SDH.

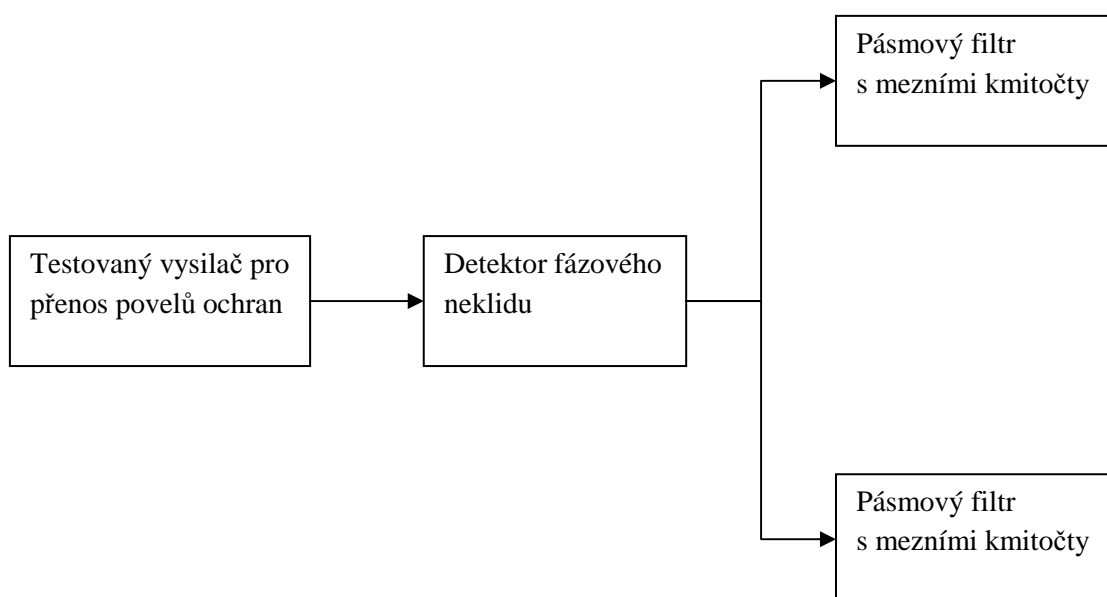
Vzhledem k tomu že testovací zařízení TP 10 je digitální systém který se používá v digitální síti je potřeba ověřit odolnost vůči hodnotám jitteru. Podle normy se musí změřit, zda fázový neklid na vstupu přijímače má vliv na činnost testovacího zařízení pro přenos povelů a zda na výstupu vysílače neovlivňuje digitální síť.

10.2 Jitter na výstupu vysilače

Uvedené podmínky pro měření jitteru jsou v normě. Doporučení je uvedeno v následující tabulce, odvozené z doporučení ITU-T G.823.

Bitová rychlost [kbit/s]	B1 (jednotkové intervaly, vrchol- vrchol)	B2 (jednotkové intervaly, vrchol- vrchol)	Šířka pásma filtru f1 [Hz]	Šířka pásma filtru f3 [kHz]	Šířka pásma filtru f4 [kHz]
2048	1,5	0,2	20	18	100

Tab. 10.1: Meze maximální povolené hodnoty výstupního jitteru [2]



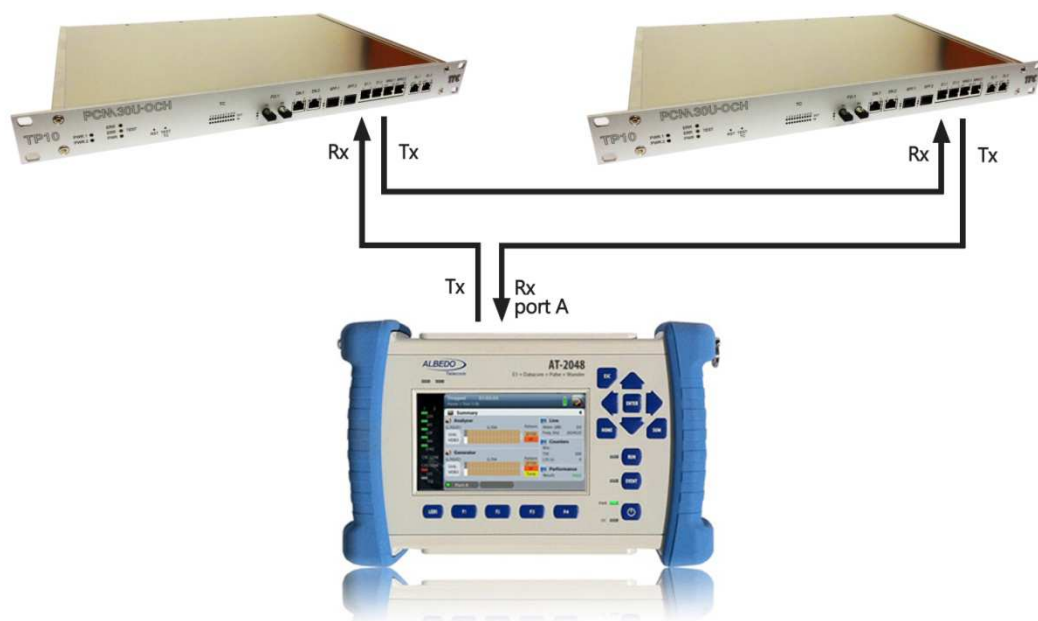
Obr. 10.1: Doporučené zapojení pro měření jitteru na výstupu vysilače

Pro ověření odolnosti proti jitteru byl použit měřicí přístroj Albedo, u kterého je nutné nastavit mód přístroje endpoint, dále zvolit testování jitteru a také nastavit kmitočtové pásmo.

Doba měření byla stanovena na 60 s.

Vzhledem k tomu že přístroj Albedo umožňuje nastavit mezní frekvenční pásmo 20 kHz až 100 kHz nebo 18 kHz až 100 kHz byly použity tyto hodnoty.

Schéma zapojení



Obr. 10.2: Zapojení pro měření jitteru na výstupu vysílacího zařízení

Výsledek měření

Fázový neklid byl vyhodnocen ve dvou kmitočtových pásmech s mezními frekvencemi 18 kHz až 100 kHz a 20 Hz až 100 kHz.

Pro pásmo od 18 kHz do 100 kHz je hodnota amplitudy 0,016 UI a pro pásmo od 20 kHz až 100 kHz je amplituda 0,017 UI. Obě hodnoty nepřekročily hodnotu B2 z tabulky číslo 1

Pásmo f1- f4 (Hz)	B1 (UI)	Naměřena hodnota jitteru B1 (UI)
20 – 100 k	0,2	0,017
Pásmo f2- f4 (Hz)	B2 (UI)	Naměřena hodnota jitteru B1 (UI)
18kHz – 100 k	1,5	0,016

Tab. 10. 2: Naměřené hodnoty jitteru na výstupu

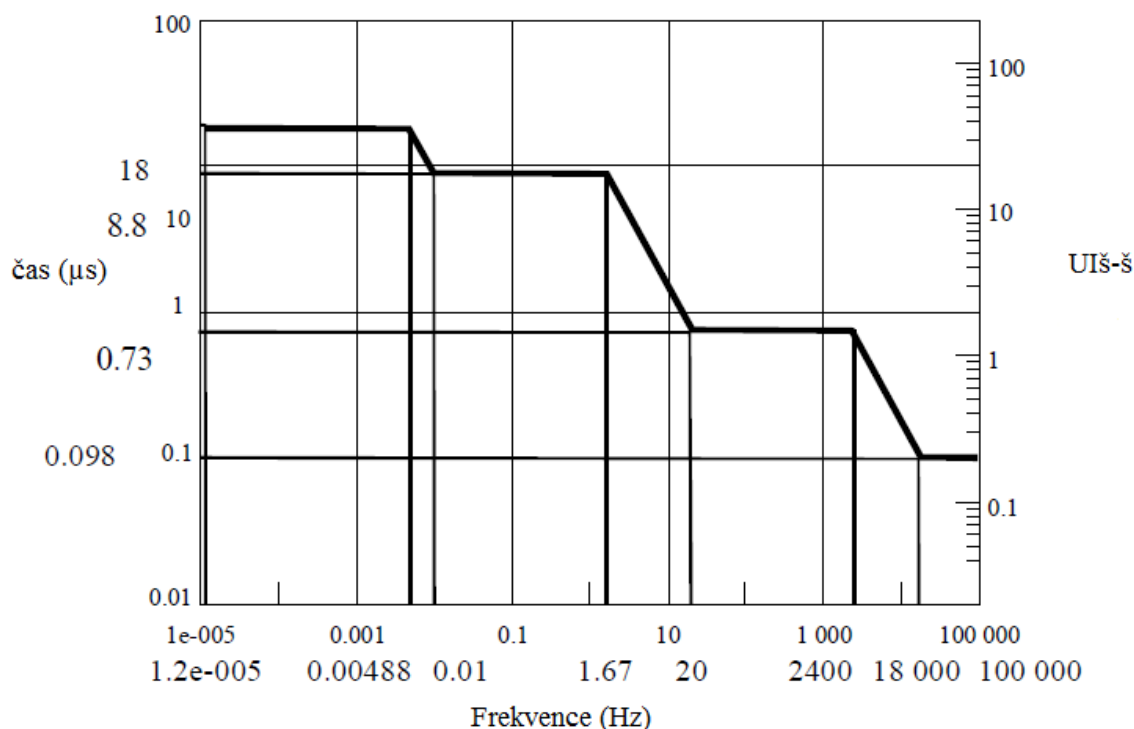
10.3 Měření jitteru na vstupu přijímače

Zařízení na přijímací straně pro přenos povelů musí odolat vstupnímu signálu, vyvolanému fázovým neklidem. Na zařízení během testu se nesmí objevit žádná chyba ani nežádoucí povel. Na zařízení pro detekci jitteru by se měla nastavit amplituda a kmitočet podle tabulky 3. Hodnoty v tabulce jsou odvozené z doporučení ITU-T Recommendation G. 823. Tato tabulka je určena pro přenosovou rychlost 64 kbit/s.

Amplituda (vrchol-vrchol)			Kmitočet (Hz)				
A0	A1	A2	f0	f1	f2	f3	f4
1,15	0,25	0,05	$1,2 \cdot 10^{-5}$	20	600	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^4$

Tab. 10.3: Hodnoty amplitudy podle nastavené frekvence

K měření na vstupu zařízení byl použit měřicí přístroj Albedo a testovací zařízení pro přenos povelů. Na měřicím přístroji Albedo se musí nastavit amplituda a frekvence podle masky fázového neklidu. Po nastavení parametrů se po dobu testu sleduje stav na měřicím přístroji, zda nedojde k chybovosti nebo k slipům. Jelikož měřicí přístroj Albedo umožňuje testovat celý rámec E1 s přenosovou rychlostí 2048 kbit/s je zvolena maska pro rychlosti 2048 kbit/s, podle které se nastavuje amplituda fázového neklidu. Frekvence je uvedena na obrázku číslo 3. Na testovacím zařízení je zvolena hodnota přenosové rychlosti E1 rámce 64 kbit/s a je nutné na zařízení TP 10 nastavit vzdálenou smyčku na portu E1.



Obr. 10.3: Nastavení masky fázového neklidu [7]

Dále je v doporučení ITU-T G823 poskytnuta tabulka, podle které je potřeba zvolit minimální amplitudu pro danou frekvenci.

Frekvence f [Hz]	Amplituda
$12 \mu < f \leq 4,88 \text{ m}$	$18 \mu\text{s}$
$4,88 \text{ m} < f \leq 10\text{m}$	$0,088 f^{-1} \mu\text{s}$
$10 \text{ m} < f \leq 1,67$	$8,8 \mu\text{s}$
$1,67 < f \leq 20$	$15 f^{-1} \mu\text{s}$
$20 < f \leq 2,4 \text{ k}$	$1,5 \text{ UI}$
$2,4 \text{ k} < f \leq 18 \text{ k}$	$3,6 10^3 f^{-1} \text{ UI}$
$18 \text{ k} < f \leq 100 \text{ k}$	$0,2 \text{ UI}$

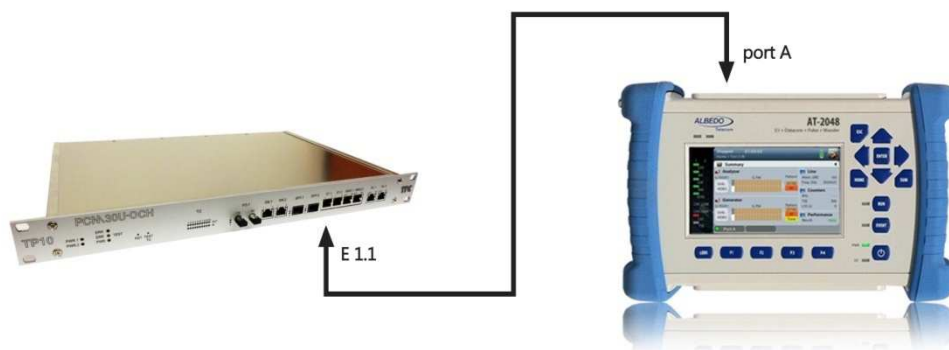
Tab. 10.4: Nastavení minimální hodnoty amplitudy [7]

Podle uvedené tabulky byla pro každý kmitočet vypočítána minimální hodnota amplitudy. Pro 10 Hz byla vypočítána hodnota amplitudy podle následujícího vzorce:

$$\left(\frac{15}{f * 10^{-6}}\right) / 4,88 * 10^{-3}$$

kde je f požadovaná frekvence kterou můžeme nastavit v rozmezí 1,67 až 20 Hz podle toho která hodnota se zvolí. Pro hodnoty frekvence od 20 až 2400 Hz je v tabulce číslo 3 přímo uvedená hodnota amplitudy 1,5.

Zapojení měřicího přístroje



Obr. 10.4: Měření jitteru na vstupu zařízení

Výsledek měření

f [Hz]	min UIpp	t [s]	test	max UIpp
0,1	18,03	100	ok	760
10	3,07	60	ok	44
20	1,5	60	ok	44
100	1,5	60	ok	56
1000	1,5	60	ok	10
2400	1,5	60	ok	4,6
10000	0,36	60	ok	1
18000	0,2	60	ok	0,55
36000	0,2	60	ok	0,5
50000	0,2	60	ok	0,5
100000	0,2	60	ok	0,45

Tab. 10.5: Měření jitteru na vstupu přijímače

Výsledek testu ukázal odolnost testovacího zařízení vůči vlivu jitteru. Pro nižší hodnotu frekvence je rozmezí mezi maximální a minimální hodnotou amplitudy fázového neklidu větší než pro vyšší hodnoty frekvence. V rozmezí mezi minimální a maximální hodnotou amplitudy nedochází k žádné bitové chybovosti ani k slipům. Test ukázal, pro jakou maximální amplitudu je zařízení pro přenos povelů TP 10 odolné vůči vstupnímu signálu vyvolaného fázovým neklidem.

10. Závěr

Z toho důvodu, že zařízení pro přenos povelů pracuje na principu pulzně kódové modulace, byl v úvodní části práce popsán systém prvního řádu evropské hierarchie E1.

Další část se věnuje detailnímu vysvětlení možnosti nastavení testovaného zařízení a popisu jednotlivých funkcí.

Podle standardu jsou navrženy měřicí postupy pro ověřování funkce testovaného zařízení TP 10, které umožňuje přenos až deset obousměrných povelů.

V první měřicí úloze je naměřena doba zpoždění přenosu povelů přes digitální přenosový systém PDH. Z naměřených výsledků je patrné to, že při vyšší přenosové rychlosti povelu je zpoždění menší. Výsledky zpoždění kolem 20 ms ukazují vysokou míru spolehlivosti přenosové trasy, přičemž u energetického systému je velmi důležité, aby zpoždění bylo co nejmenší.

Testy pravděpodobnosti výskytu nežádoucích povelů ukázal vysokou bezpečnost zařízení, protože nebyla překročena normou stanovená hodnota. Nežádoucí povely se nejčastěji objevovaly při hodnotách bitové chybovosti 10^{-4}

Další důležitou zkouškou byl test provozní spolehlivosti, kde bylo za podmínek šumu testováno, zda budou přeneseny všechny povelové impulzy. Zkušební test ukázal, že při vyšších hodnotách bitové chybovosti dochází ke ztrátám povelových informací.

Měřicími metodami je prokázáno, že je zařízení pro přenos povelů TP 10 je velice spolehlivé a plní předepsané požadavky standardu IEC 60834-1.

Literatura

- [1] Vodrážka, J. – Havlání, M. *Přenosové systémy a sítě*. Praha: Skriptum ČVUT 2009.
- [2] Standard IEC 60834 - 1
- [3] Firemní dokumentace společnosti TTC telekomunikace
- [4] Škop, M. – Petrásek, M – Schlitter M. – Pilný J. – Salač J. *Digitální přenosové systémy – měření*. Praha: Skriptum ČVUT 1996.
- [5] Svoboda J a kolektiv. *Telekomunikační technika*. Nakladatelství Sdělovací technika 2002.
- [6] Máslo, K. a kolektiv - *Řízení a stabilita elektrizační soustavy*. Praha: Asociace energetických manažerů 2013.
- [7] ITU-T – Recommendation G. 823. *Transmission systems and media, digital systems and networks*. ITU 2000
- [8] ITU-T – Recommendation G. 701. *General aspects of digital transmission systems*. ITU 1993
- [9] Toman, P. – Drápala, J – Mišák, S – Orságová, J. –Paar, M. – Topolanek D. *Provoz distribučních soustav*. Praha: ČVUT 2011.
- [10] Provozovatel lokálních distribučních soustav – *Pravidla provozování*. Praha: Energetický regulační úřad 2014. Dostupný z WWW
<http://www.eru.cz/documents/10540/462808/PPLDS_Manhattan.pdf/d123cedc-6205-483f-a7cb-e4fb701a682a>

Seznam použitých zkratek

- PCM – pulzně kódová modulace/Pulse Code Modulation
- BER – bitová chybovost, Bit Error Rate
- ITU – mezinárodní telekomunikační unie/International Telecommunications Union
- UI – jednotkový interval/Unit Interval
- IEC – mezinárodní technická komise/International Electrotechnical Commission
- TP 10 - testované zařízení pro přenos povelů
- PDH – plesionchronní digitální hierarchie/Plesionchronous Digital Hierarchy
- CRC – cyklicky redundantní součet, Cyclic Redundancy Check
- PCM 30 – první řad evropské hierarchie PDH
- IP – internetový protokol/Internet Protocol
- HDB3 – linkový kód,/High Density Bipolar
- AIS – poplachový indikační signál Alarm Indication Signal
- SNR – odstup signál/šum/Signal to Noise Ratio
- A/D – analogově digitální převodník
- E1 – první řad evropské hierarchie PDH
- TSE – Test Sequence Error
- VVN- velmi vysoké napětí
- KI – kanálový interval
- TDM- časové dělení,/Time Division Multiplex

Seznam obrázků

- Obr. 3.1: Příklad realizace převodníku A/D*
- Obr. 3.2: Struktura rámce PCM 30*
- Obr. 4.1: Digitální zařízení pro přenos povelů ochran propojená přes multiplexní komunikační systém*
- Obr. 5.1: Vzhled zařízení TP 10 [5.1]*
- Obr. 5.2: Čelný panel zařízení TP10[3]*
- Obr. 5.3: Zadní panel zařízení TP 10 [3]*
- Obr. 5.4: Blokové schéma zařízení TP 10 [3]*
- Obr. 5.5: Dohledový nástroj LMS*
- Obr. 5.6: Konektor E1*
- Obr. 5.7: Konektor TC základní menu položka vstupy*
- Obr. 5.8: Rozhraní TC položka výstupy*
- Obr. 5.9: Položka stavy a čítače*
- Obr. 5.10: Záložka TC1_TG 1*
- Obr. 5.11: Popis pinů konektoru TC [3]*
- Obr. 6.1: Aplikace zařízení TP 10 [3]*
- Obr. 7.1: Schéma zapojení zařízení pro přenos povelů*
- Obr. 7.2: Působení tranzistoru na povelový signál*
- Obr. 7.3: Měření zpoždění Δt*
- Obr. 7.4: Měření zpoždění signálu pomocí osciloskopu*
- Obr. 8.1: Doporučené měření bezpečnosti přenosu povelů*
- Obr. 8.2: Schéma zapojení přístrojů při měření bitové chybovosti*
- Obr. 8.3: Schéma zapojení přístroje pro měření bezpečnosti*
- Obr. 9.1: Schéma zapojení pro zkoušku provozní spolehlivosti*
- Obr. 10.1: Doporučené zapojení pro měření jitteru na výstupu vysílače*
- Obr. 10.2: Zapojení pro měření jitteru na výstupu vysílacího zařízení*
- Obr. 10.3: Nastavení masky fázového neklidu [7]*
- Obr. 10.4: Měření jitteru na vstupu zařízení*

Seznam tabulek a grafů

Tab. 3.1: Evropský hierarchický model PDH

Tab. 5.1: Signalizace diod na čelním panelu zařízení TP 10 [3]

Tab. 5.2: Popis rozhraní E1

Tab. 5.3: Význam alarmů u záložky TC1_TG.1

Tab. 7.1: Měření zpoždění přenosu povelů při přenosové rychlosti 64 kbit/s

Tab. 7.2: Měření zpoždění přenosu povelů při přenosové rychlosti 128 kbit/s

Tab. 7.3: Měření zpoždění přenosu povelů při přenosové rychlosti 256 kbit/s

Tab. 7.4: Měření zpoždění přenosu povelů při přenosové rychlosti 512 kbit/s

Tab. 8.1: Naměřené hodnoty chybovosti v závislosti na amplitudě šumu

Graf. 8.1: Závislost výskytu chybovosti BER na SNR

Tab. 8.2: Naměřené hodnoty při výskytu nežádoucích povelů

Tab. 9.1: Naměřené hodnoty bitové chybovosti

Tab. 9.2: Provozní spolehlivost pro hodnotu BER 10^{-3}

Tab. 9.3: Provozní spolehlivost pro hodnotu BER 10^{-4}

Tab. 9.4: Provozní spolehlivost pro hodnotu BER 10^{-5}

Tab. 9.5: Provozní spolehlivost pro hodnotu BER 10^{-6}

Tab. 10.1: Meze maximální povolené hodnoty výstupního jitteru [2]

Tab. 10. 2: Naměřené hodnoty jitteru na výstupu

Tab. 10.3: Hodnoty amplitudy podle nastavené frekvence

Tab. 10.4: Nastavení minimální hodnoty amplitudy [7]

Tab. 10.5: Měření jitteru na vstupu přijímače

