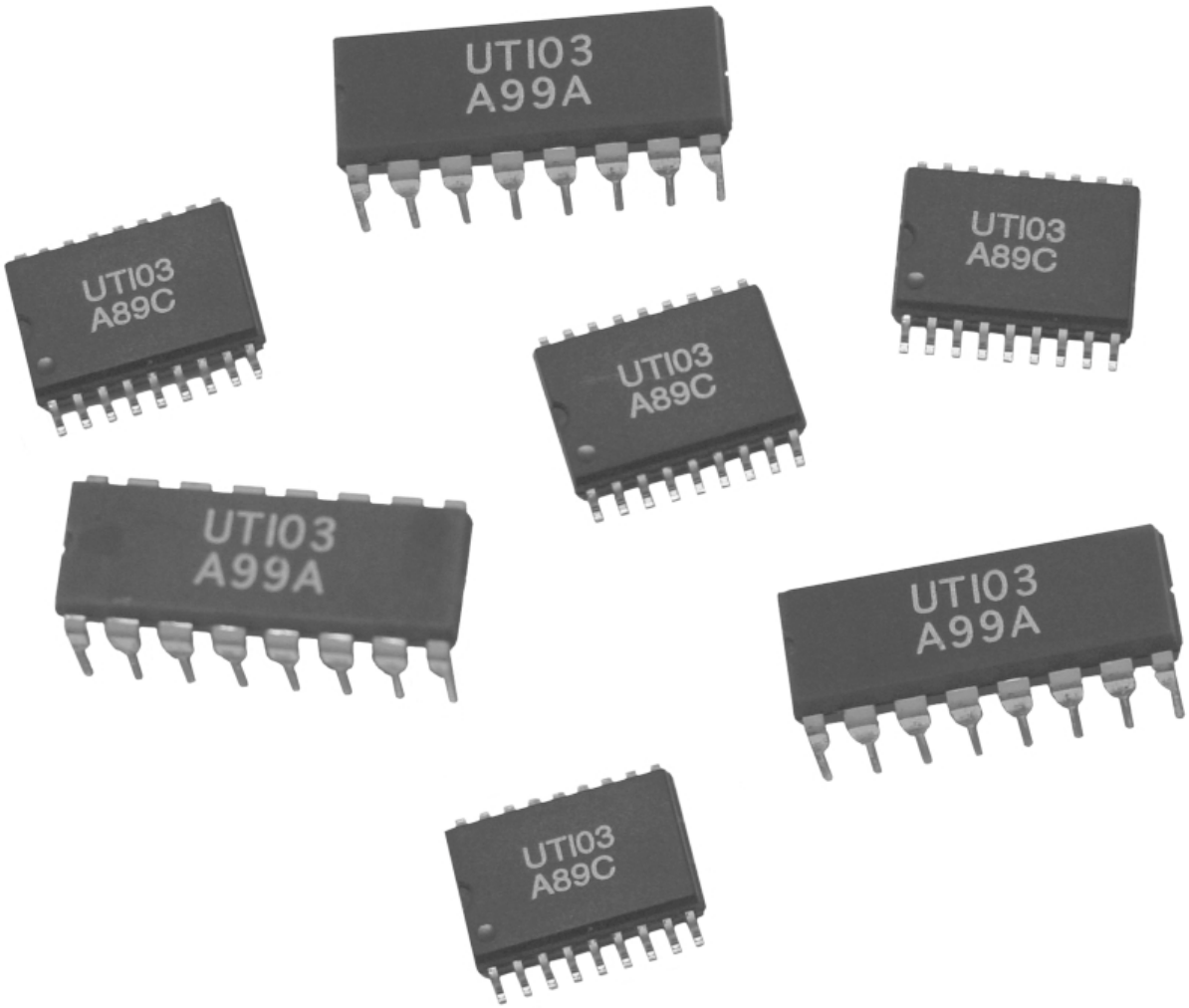
Univerzální obvod rozhraní (UTI)

Revoluce v měřicích obvodech pro senzory



omnitron

SMARTEC

Vlastnosti

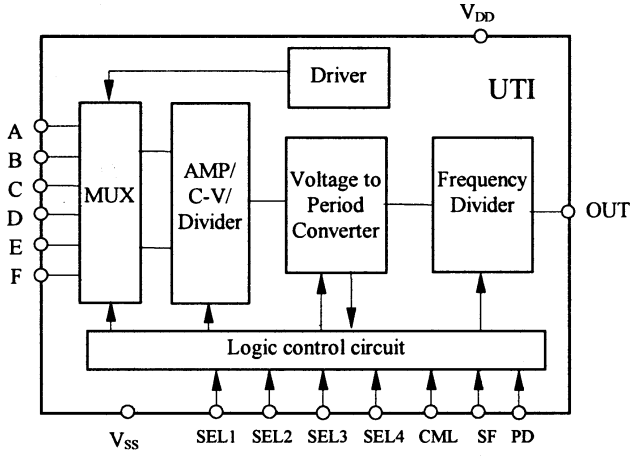
- Komunikace senzorů kapacitních, odporových senzorů Pt, termistorů, odporových můstků a potenciometrů s číslicovými procesory
- Multiplexní měření několika senzorů
- Jednoduché napájení 2,9 V – 5,5 V
- Proudová spotřeba pod 2,5 mA
- Rozlišení a linearita 13 až 14 bitů
- Průběžná automatická kalibrace zisku a ofsetu
- Výstupní signál slučitelný s mikrokontroléry
- Třístavový výstup
- Doba měření typicky 10 ms nebo 100 ms
- 2/3/4 - vodičové připojení téměř všech senzorů
- Střídavé budící napětí pro všechny senzory
- Potlačení rušení o kmitočtech 50/60 Hz
- Režim činnosti s odpojeným napájením (power down)
- Rozsah teploty -40 ˚C až 85 ˚C
- Pracovní teplota čipu až do 180 ˚C

1. Obecný popis

Univerzální obvod rozhraní (Universal Transducer Interface - UTI) je úplný analogový měřicí obvod založený na modulaci doby periody oscilátoru vhodný pro použití v nízkofrekvenčních aplikacích. Senzor může být spojen s UTI přímo bez použití dalších elektronických obvodů. Ke správné činnosti je třeba pouze jeden referenční prvek stejné fyzikální podstaty jakou má senzor. Obvod UTI generuje signál s proměnnou periodou plně slučitelný s mikrokontroléry. UTI může být použit jako rozhraní pro:

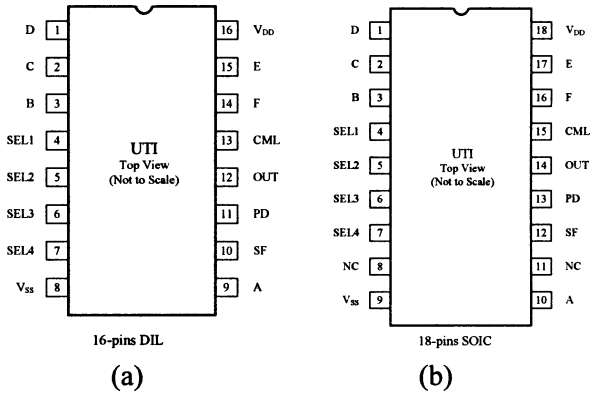
- Kapacitní senzory s kapacitou proměnnou v rozsazích 0 - 2 pF, 0 -12 pF, a proměnným rozsahem až do 300 pF
- Odporové teploměry Pt100, Pt1000
- Termistory 1 kΩ - 25 kΩ
- Odporové můstky 250 Ω - 10 kΩ s maximální hodnotou nevyvážení +/- 4 % nebo +/- 0,25 %
- Potenciometry 1 kΩ - 50 kΩ
- Kombinace výše uvedených elementů

UTI je ideálním rozhraním pro inteligentní systémy založené na mikrokontrolérech. Výstupní data jsou přenášena jediným vodičem čímž se zmenšuje celkový počet spojovacích cest a optických členů vyžadovaných při práci s izolovanými systémy. Průběžná automatická korekce ofsetu a zisku je založena na kalibraci metodou tří signálů. Pomalu proměnné rušivé signály (např. parazitní termočlánky, síť) jsou potlačeny střídavým buzením senzorů. Konfigurace obvodu pro zvolenou funkci lze realizovat programem nebo propojením vývodů.



2. Zapojení vývodů

UTI se dodává v plastickém pouzdru DIP se 16-ti vývody, nebo v provedení SOIC s 18-ti vývody. Seznam funkcí jednotlivých vývodů je uveden v tabulce tab.1.



Obr.1 Uspořádání vývodů

Název vývodu	Funkce vývodu
V_{DD}, V_{ss}	Napájecí zdroj
A, B, C, D, E, F	Přívody k senzorům
SEL1..SEL4	Výběr módu (viz tab. 2)
OUT	Výstup
SF	Volba módu Slow/fast
CML	Volba módu CMUX02/CMUX12
PD	Snížený výkon (třístavový režim)

Tab 1. Popis funkcí vývodů

3. Mezní hodnoty

T_A = +25˚C

Napětí napájecího zdroje	-0,3 V do +7 V
Proud z napájecího zdroje (proud do senzoru neuvažován)	3 mA
Rozptýlený výkon	21 mW
Rozptýlený výkon v režimu sníženého výkonu (PD)	7 µW
Výstupní napětí	-0,3 V do V_{DD}+0,3 V
Výstupní proud	8 mA
Výstupní impedance	60 Ω
Vstupní napětí vztažené k V_{SS}	-0,3 V do V_{DD}+0,3 V
Vstupní proud na každém vývodu	±20 mA
Odolnost proti elektrostatickým účinkům (ESD)	> 4000 V
Skladovací teplota	-65˚C do +150˚C
Rozsah pracovních teplot	-40˚C do +85˚C
Pájecí teplota (po dobu 10 sec)	+300˚C

4. Obecné údaje

4.1 Přehled režimů činnosti

SEL1	SEL2	SEL3	SEL4	Mód činnosti	Počet fází	Název	Číslo módu
0	0	0	0	5 kondenzátorů s kapacitou 0-2 pF	5	C25	0
0	0	0	1	3 kondenzátory s kapacitou 0- 2 pF	3	C23	1
0	0	1	0	5 kondenzátorů s kapacitou 0-12 pF	5	C12	2
0	0	1	1	Kondenzátory 0-2 pF, vnější MUX CML=0 Kondenzátory 0-12 pF, vnější MUX CML=1	-	CMUX	3
0	1	0	0	3 kondenzátory, proměnný rozsah do 300 pF	3	C300	4
0	1	0	1	Odporový teploměr Pt100-Pt1000, 4 vodiče	4	Pt	5
0	1	1	0	Termistor 1 kΩ-25 kΩ, připojení 4 vodiče	4	Ther	6
0	1	1	1	2 nebo 3 platinové teploměry Pt100-Pt1000	5	Pt2	7
1	0	0	0	2 nebo 3 termistory, 1kΩ-25 kΩ,	5	Ther2	8
1	0	0	1	Odporový můstek, ref. je V_{bridge}, +/- 200 mV	3	Ub2	9
1	0	1	0	Odporový můstek, ref. je V_{bridge}, +/- 12,5 mV	3	Ub1	10
1	0	1	1	Odporový můstek, ref. je I_{bridge}, +/- 200 mV	3	Ib2	11
1	1	0	0	Odporový můstek, ref. je I_{bridge}, +/- 12,5 mV	3	Ib1	12
1	1	0	1	Odp. můstek a dva odpory, +/- 200 mV	5	Brg2	13
1	1	1	0	Odp. můstek a dva odpory, +/- 12,5 mV	5	Brg1	14
1	1	1	1	3 potenciometry 1 kΩ-50 kΩ	5	Potm	15

Tab 2. Módy činnosti UTI, názvy módů a počet fází v 1 cyklu

4.2 Kalibrace metodou tří signálů

Metoda tří signálů slouží k vyloučení chyb způsobených proměnným ofsetem (posuvem nuly) a ziskem lineárních systémů. Dva známé referenční signály jsou použity k zjištění přenosu lineárního systému (tj. hodnot posuvu nuly a zisku). Třetí signál odpovídá působení měřené veličiny a tvoří výstupní signál senzoru. Předpokládejme, že systém má lineární přenosovou funkci ve tvaru:

$$M_i = kE_i + M_{off} \tag{1}$$

Odezva systému M_i na vstupní signály $E_1 = 0$, $E_2 = E_{ref}$ a $E_3 = E_x$ je popsána vztahy:

$$\begin{aligned} M_{off} &= M_{off} \\ M_{ref} &= kE_{ref} + M_{off} \\ M_x &= kE_x + M_{off} \end{aligned} \tag{2}$$

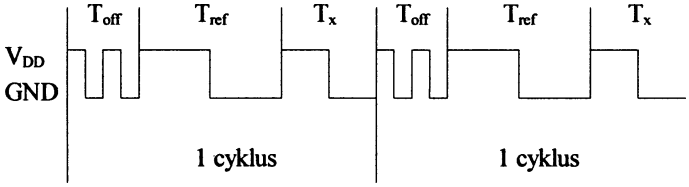
Z naměřených výstupních hodnot určíme poměr M měřené veličiny k referenční ve tvaru:

$$M = \frac{M_x - M_{off}}{M_{ref} - M_{off}} = \frac{E_x}{E_{ref}} \tag{3}$$

Rovnice (3) ukazuje, že kalibrace třemi signály, využívána v obvodu UTI, vylučuje rušivé účinky proměnného ofsetu M_{off} a zisku systému k, za předpokladu, že systém se chová jako lineární, tj. pro jeho přenos platí rovnice (1).
Realizace kalibrace třemi signály vyžaduje paměť k uchování hodnot M_{off}, M_{ref} a M_x a číslicový procesor pro výpočet poměru M. Tyto funkce vykonává mikrokontrolér, jenž může navíc převádět výstupní signál senzoru s modulovanou periodou do číslicového tvaru.
Systém, zahrnující senzor, obvod zpracování signálu, obdobný jako UTI a mikrokontrolér, patří do třídy **inteligentních senzorových systémů** s mikrokontroléry.

4.3 Výstupní signály UTI

Pravidla pro generaci výstupního signálu jsou ukázána na příkladu průběhu dvou úplných cyklů výstupního signálu UTI zobrazených na obr. 2. V popisovaném případě se každý cyklus skládá ze tří fází.



Obr. 2. Výstupní signál z UTI pro tří fázový mód činnosti.

Během první fáze T_{off} se měří ofset (posuv nuly) celého systému. V druhé fázi T_{ref}, se měří odezva na referenční veličinu a v poslední fázi T_x se určuje odezva na měřenou veličinu. Jednotlivé fáze jsou automaticky řízené obvody UTI.
Trvání každé fáze je úměrné hodnotě veličiny měřené v příslušné fázi. Trvání jednotlivých fází je uvedeno v následující tabulce:

Pro měření kapacity	**Pro měření odporu**
$T_{off} = NK_1C_0$	$T_{off} = NK_2V_0$
$T_{ref} = NK_1(C_{ref} + C_0)$	$T_{ref} = NK_2(V_{ref} + V_0)$
$T_x = NK_1(C_x + C_0)$	$T_x = NK_2(V_x + V_0)$

kde C_x a V_x jsou měřené hodnoty výstupních signálů senzorů,. C_{ref} a V_{ref} jsou hodnoty referenčních veličin, C_0 a V_0 jsou konstanty (zahrnují napětí ofsetu a pod.), a hodnoty K_1 a K_2 představují zisk. Činitel N odpovídá počtu period vnitřního oscilátoru v průběhu jedné fáze. V pomalém režimu činnosti je N = 1024, v rychlém režimu je N = 128. Veličiny V_x a V_{ref} mohou představovat např. spád napětí na odporu senzoru a referenčním odporu, nebo v případě můstkového měření výstupní a napájecí napětí můstku.
Výstupní signál z UTI může být převeden do číslicového tvaru čítáním počtů impulsů hodin v průběhu každé fáze. Výsledkem čítání (obsahem čítače) jsou hodnoty N_{off}, N_{ref} a N_x. Mikrokontrolér vypočítá z těchto hodnot poměry C_x/C_{ref} resp. V_x/V_{ref} využitím vztahů

$$M = \frac{N_x - N_{off}}{N_{ref} - N_{off}} = \frac{C_x}{C_{ref}} \quad \text{nebo}$$
$$M = \frac{N_x - N_{off}}{N_{ref} - N_{off}} = \frac{V_x}{V_{ref}} \qquad (4)$$

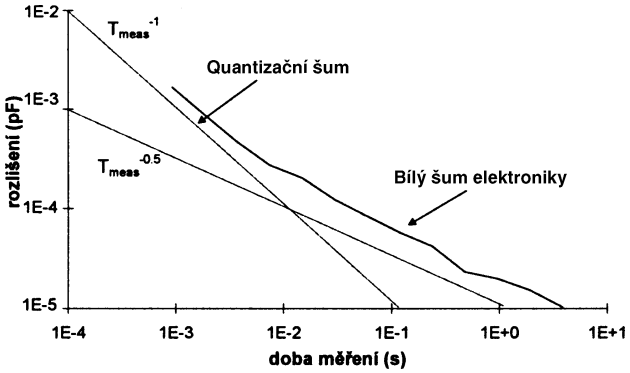
Opět je vidět, že poměr M nezávisí na ofsetu a zisku systému, jelikož kalibrací třemi signály je přenos systému plně určen. Kalibrací se vyloučí i účinky pomalu proměnných změn zisku a ofsetu.
Časová posloupnost (časový multiplex) tří fází je znázorněna na obr. 2. Fáze měření ofsetu T_{off} se skládá ze dvou krátkých intervalů, tj. frekvence je dvojnásobná. Tato vlastnost fáze ofsetu je mikrontrolérem zjištěna (příznak začátku cyklu) a zaručuje správnost výpočtu výrazů (4) .
Počet fází v úplném cyklu se v závislosti na módu činnosti mění od 3 do 5.

4.4 Rozlišovací schopnost

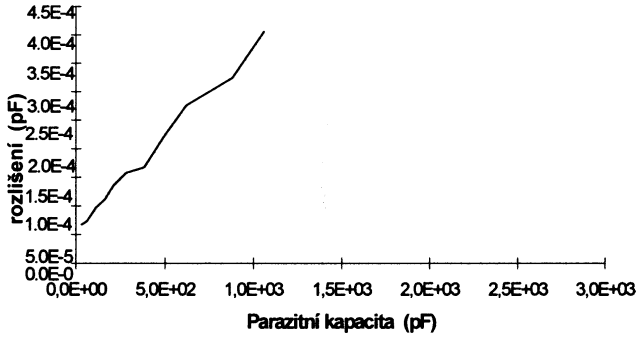
Mikrokontrolér slouží k převodu výstupního signálu z UTI do číslicové formy (digitalizaci). Algoritmus digitalizace je založen na zjišťování úrovně výstupního signálu (*vzorkování*). Jelikož nelze rozeznat změny úrovně signálu za čas kratší než je interval mezi vzorky, je doba trvání jisté úrovně signálu kvantována, tj. měřitelná pouze jako celočíselný násobek časového kvanta odpovídajícího intervalu (periodě) vzorkování. Takto vzniká *kvantizační šum*, omezující rozlišovací schopnost měření času. Odmocnina z rozptylu kvantizačního šumu σ_q je dána výrazem

$$\sigma_q = \frac{1}{\sqrt{6}} \frac{t_s}{T_{phase}} \qquad (4)$$

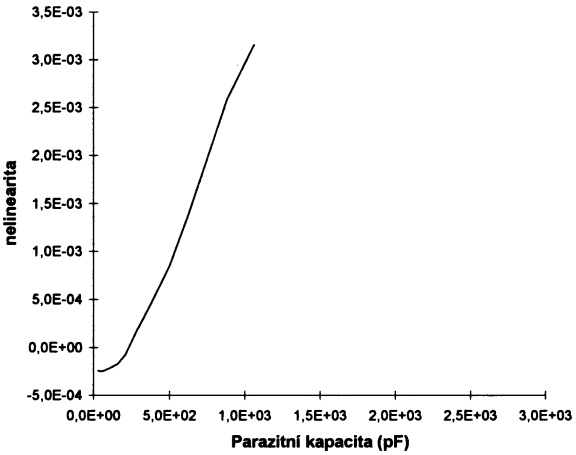
kde t_s je perioda vzorkování a T_{phase} je trvání fáze. Např. pro periodu vzorkování 1 µs a kmitočet signálu ve fázi T_{off} rovný 50 kHz, odmocnina z rozptylu kvantizačního šumu v této fázi odpovídá rozlišovací schopnosti 12,5 bitů pro práci v rychlém módu a 15,5 bitů pro pomalý mód.
Výpočtem průměru z několika hodnot M_i zvyšuje rozlišovací schopnost. Výpočtem průměru M pro P hodnot M_1,..., M_P klesne hodnota $\sigma_q \sqrt{P}$ krát.
Rozlišovací schopnost je kromě kvantizačního šumu omezena také tepelným šumem oscilátoru (tj. kolísáním jeho kmitočtu). Avšak při práci v rychlém módu převládá účinek kvantovacího šumu.
Příklad závislosti naměřených hodnot rozlišovací schopnosti na době měření je na obr. 3. a platí pro činnost v módu CMUX .
Závislost rozlišovací schopnosti na hodnotě parazitní kapacity pro mód CMUX je na obr. 4.



Obr. 3. *Závislost rozlišovací schopnosti na době měření při kalibraci třemi signály. Měřicí rozsah je roven 0 - 2 pF a parazitní kapacita C_p = 50 pF (viz obr. 7).*



Obr. 4. Závislost rozlišovací schopnosti při kalibraci třemi signály na parazitní kapacitě C_p. Měřicí rozsah je 0 – 2 pF.



Obr. 5. Závislost nelinearity na parazitní kapacitě C_p. Měřicí rozsah je 0 - 2 pF.

Linearita

Typická hodnota linearity převodní charakteristiky UTI odpovídá 11-ti a 13-ti bitům, v závislosti na pracovním módu. Závislost nelinearity na parazitní kapacitě C_p (viz obr. 7) pro práci v módu CMUX je na obr. 5.

5. Výstup

Obvod UTI generuje na svém výstupu signál s modulovanou periodou kompatibilní se signály mikrokontroléru. UTI generuje také signály pro buzení senzorů. V tab. 3 jsou uvedeny některé charakteristické údaje výstupních signálů UTI.
(V_{DD} = 5 V, T_A = +25˚C)

Parametr	Hodnota	Jednotka	Podmínky/poznámky
V_{OL}, napětí log. úrovně L	0,4	V max	
V_{OH}, log. úrovně H	V_{DD}-0,6	V min	
Výstupní odpor z OUT	60	Ω	
Maximální zátěž na OUT	8	mA	V_{DD} = 5 V
Výstupní odpor na vývodech B, C, D, E a F	800	Ω	Vývody B-F jsou použity jako výstupy v kapacitních módech 0 - 4.
Maximální výstupní proud z E a F	20	mA	Pro odpory a odporové můstky
Doba náběhu rychlý mód pomalý mód	14 14	ns ns	
Doba odběhu rychlý mód pomalý mód	13 13	ns ns	
Zpoždění šířením signálu t_{PLH} (PD-OUT) t_{PHL}	30 30	ms ms	Tyto hodnoty jsou změřeny pro pomalý mód, pro rychlý mód jsou 8-krát menší.
Zpoždění šířením signálu t_{PLH} (SELi-OUT) t_{PHL}	30 30	ms ms	Tyto hodnoty jsou změřeny pro pomalý mód, pro rychlý mód jsou 8-krát menší.

Tab. 3 Některé charakteristické údaje výstupů obvodu UTI

6. Analogové vstupy

Senzory různého typu mohou být přímo připojeny na vstupy UTI. Spojení senzorů s UTI pro různé módy je popsáno v odstavci 8. Charakteristické údaje vstupů UTI jsou uvedeny v tabulce *tab. 4.*
(V_{DD} = 5 V, T_A = +25˚C)

Parametr	Hodnota	Jednotka	Podmínky/poznámky
Vstupní kapacita	20	pF	
Parazitní kapacita mezi A a B, C, D, E, F	$30x10^{-3}$	pF	Pouzdro DIP
Potlačení rušení 50/60 Hz	60	dB	

Tab. 4 Charakteristické údaje vstupů UTI.

7. Řídicí signály

Obvod UTI může pracovat v 16–ti módech (viz odst. 4.1). K výběru módu slouží vývody SEL1, SEL2, SEL3 a SEL4. Mód může být vybrán programem nebo hardwarově. V tab. 2 symbol '1' odpovídá napětí V_{DD} a symbol '0' uzemnění (GND). Další módy činnosti tj. rychlost měření (slow/fast) a vypnutí napájení (power down) a jsou ovládány signály SF a SD.
Signál na vývodu SF slouží k nastavení rychlosti měření.Pro SF = 1 UTI pracuje v rychlém módu, v němž je trvání úplného cyklu výstupního signálu přibližně 10 ms. Pro SF = 0 UTI pracuje v pomalém módu a trvání úplného cyklu výstupního signálu je asi 100 ms. Vývod PD slouží k odpojení napájení. Pro PD = 0 je UTI odpojen od napájení a výstupní svorka je na vysoké impedanci (plovoucí). Pak je možné spojit výstupy několika UTI k jedinému vodiči za předpokladu, že je vybrán (PD=1) pouze jeden z nich.
Vývod CML je vždy spojen se zemí (GND) s výjimkou provozu v módu CMUX. V tomto módu (CMUX) vývod CML slouží k výběru rozsahu. Lze volit mezi rozsahy 0 – 12 pF (CML = 0) a 0 - 12 pF (CML = 1).
Všechny analogové a číslicové vstupy jsou chráněny před účinky elektrostatického náboje (ESD).
Plovoucí vstupní vývody až na stanovené výjimky nejsou přípustné.

8. Módy činnosti

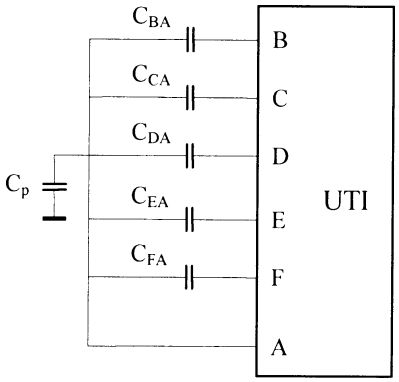
V tomto odstavci budou uvedeny vlastnosti UTI při různých módech jeho činnosti. Názvy módů odpovídají tab 2. Pokud nebude jinak uvedeno, platí další popis pro řídicí signály ve stavech CML = 0 a SF = 0. V dalším budou pro jednotlivé módy stanoveny tyto důležité parametry:

- přesnost,
- rozlišovací schopnost,
- počet fází činnosti,
- parametry signálů v jednotlivých fázích.

Posloupnost fází je vztažena k fázi 1 určené k měření ofsetu obvodu. Tato fáze slouží také k synchronizaci činnosti mikrokontroléru a proto kmitočet signálu je v této fázi dvojnásobný. Údaje dále uvedené byly získány měřením s mikrokontrolérem Intel 87C51FA pracujícím se vzorkovacím kmitočtem 3 MHz. Tím se však neomezuje možnost použití jiných mikrokontrolérů.

8.1 Mód 0. C25: 5 kondenzátorů 0-2 pF

V tomto módu lze měřit postupně 5 kondenzátorů s kapacitami v rozsahu 0 - 2 pF. Jedna z elektrod všech kondenzátorů musí být společná.
Zapojení kondenzátorů je na *obr 6.* Kondenzátor C_p představuje kapacitu kabelů (přívodů). Společná ("přijímací") elektroda je připojena na vývod A. Signály na "vysílacích" elektrodách (B až F) mají pravoúhlý průběh s amplitudou V_{DD}. Vývody ke kondenzátorům, které nejsou právě měřeny, jsou uvnitř obvodu spojeny se zemí. Jak je uvedeno v tab. 5, jeden měřicí cyklus v módu C25 se skládá z 5-ti fází.



Obr. 6. Připojení kondenzátorů k UTI

Fáze	Měřené kondenzátory	Perioda výstupního signálu
1	$C_{BA}+C_0$	$T_{BA} = NK_1 (C_{BA} + C_O)$
2	$C_{CA}+C_0$	$T_{CA} = NK_1 (C_{CA} + C_O)$
3	$C_{DA}+C_0$	$T_{DA} = NK_1 (C_{DA} + C_O)$
4	$C_{EA}+C_0$	$T_{EA} = NK_1 (C_{EA} + C_O)$
5	$C_{FA}+C_0$	$T_{FA} = NK_1 (C_{FA} + C_O)$

Tab. 5 Kondenzátory měřené v jednotlivých fázích.

Ve fázi 1 se měří kapacita $C_{BA}+C_0$. Kmitočet výstupu je v této fázi dvojnásobný, takže fáze je složena ze dvou krátkých period. Dvojnásobný kmitočet první fáze umožňuje synchronizaci mikrokontroléru. V obecném případě není mezi vývody B a A zapojen žádný kondenzátor. Charakteristické údaje pro mód C25 (mód 0) jsou uvedeny v tabulce *(tab. 6).*

Parametr	Typická hodnota
K_1	10 ms/pF
C_0	2 pF
Maximální kapacita C_{iA}	2 pF
Linearita	13 bitů
Rozlišení (SF = 0, C_p=30 pF)	14 bitů
Ofset (počáteční kapacita)	< $15x10^{-3}$ pF

Tab. 6. Charakteristické údaje pro módy C25 a C23

Počáteční kapacita (ofset) představuje parazitní kapacity mezi přívodními drátky a podložkami integrovaného obvodu. Zahrnuje také kapacitu mezi vývody jeho pouzdra. Je-li počáteční kapacita příliš veliká, je nutné pracovat v módu CMUX. V tomto případě se používá externí multiplexer a počáteční kapacita může klesnout pouze na $20x10^{-6}$ pF.

8.2 Mód 1. C23: 3 kondenzátory 0-2 pF

V tomto módu lze měřit 3 kondenzátory s kapacitou v rozsahu 0 - 2 pF a jednou společnou elektrodou. Na rozdíl od módu C25 je jeden cyklus složen pouze ze 3 fází. Připojení kondenzátorů je stejné jako na *obr 6*, až na vynechání kondenzátorů C_{EA} a C_{FA}. Postup měření kondenzátorů v jednotlivých fázích je uveden v tab 7. Charakteristické údaje jsou v tab. 8.

Fáze	Měřené kondenzátory	Periody výstupního signálu
1	$C_{BA}+C_0$	$T_{BA} = NK_1 (C_{BA} + C_O)$
2	$C_{CA}+C_0$	$T_{CA} = NK_1 (C_{CA} + C_O)$
3	$C_{DA}+C_0$	$T_{DA} = NK_1 (C_{DA} + C_O)$

Tab. 7 Kondenzátory měřené v jednotlivých fázích módu C23

8.3 Mód 2. C12: 5 kondenzátorů 0-12 pF

V tomto módu lze měřit 5 kondenzátorů s jednou společnou elektrodou a kapacitou v rozsahu 0 - 12 pF. Připojení kondenzátorů k UTI je na obr. 6. Maximální hodnota kapacity C_{iA} (index *i* znamená B, C, D nebo E) je 12 pF. Počet fází je 5. Charakteristické údaje jsou uvedeny v tabulce (tab. 8). Kondenzátory měřené v jednotlivých fázích jsou uvedeny v tabulce *(Tab 5)*. Na rozdíl od módu 0 maximální měřitelná kapacita 12 pF.

Parametr	Typická hodnota
K_1	1.7 ms/pF
C_0	12 pF
Maximální kapacita C_{iA}	12 pF
Linearita	13 bitů
Rozlišení (SF = 0, C_p=30 pF)	14 bitů
Ofset (počáteční kapacita)	< $15x10^{-3}$ pF

Tab. 8 Charakteristické údaje pro mód C12

Počáteční kapacita (ofset) představuje parazitní kapacity mezi přívodními drátky a podložkami integrovaného obvodu. Zahrnuje také kapacitu mezi vývody jeho pouzdra. Je-li počáteční kapacita příliš veliká, je nutné pracovat v módu CMUX. V tomto případě se používá externí multiplexer a počáteční kapacita může být pouze $20x10^{-6}$ pF.

8.4 Mód 3. CMUX: kondenzátory 0-2 pF/0-12 pF, externí MUX

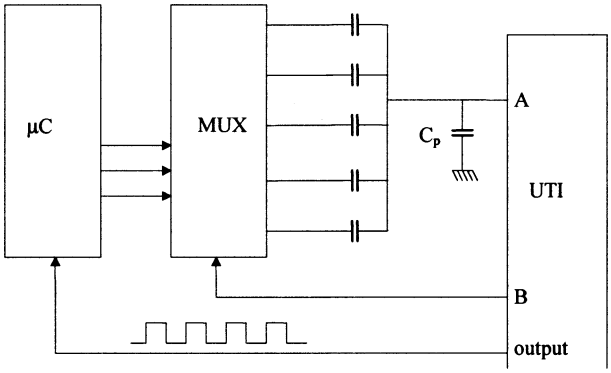
V tomto módu lze měřit libovolný počet kondenzátorů v rozsahu kapacit 0 - 2 pF (CML = 0) nebo 0 - 12 pF (CML = 1). Kondenzátory musí mít jednu společnou elektrodu. Jelikož výběr fází měření neprobíhá v UTI, je nutné použít externí multiplexer. Pro takováto měření vyvinul Smartec

nový multiplexer MUX s devíti výstupy a čtyřmi vstupy. Charakteristické údaje módu CMUX jsou uvedeny v tabulce *(Tab. 9).*

Parametr	Typ. hodnota (CML = 0)	Typ. hodnota (CML = 1)
K_1	10 ms/pF	1.7 ms/pF
C_0	2 pF	12 pF
Maximální kapacita C_{iA}	2 pF	12 pF
Linearita (C_p < 300 pF)	13 bitů	13 bitů
Ofset	2 x 10^{-5} pF	2 x 10^{-5} pF
Rozlišení (SF = 0, C_p < 30 pF)	14 bitů	14 bitů

Tab. 9 Charakteristické údaje pro mód CMUX

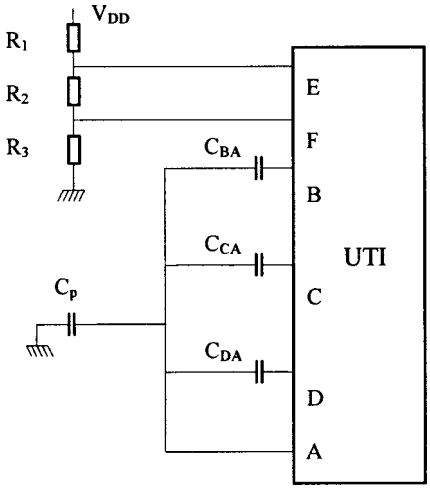
Příklad uspořádání měřicího obvodu je na *obr.7.* Externí multiplexer řízený mikrokontrolérem (μC), přepíná signály na vývodu B k jednomu (nebo vícero) kondenzátorům. Výstup UTI je na vývodu"output" jmenovitý kmitočet výstupního signálu během měření ofsetu (žádný z kondenzátorů není připojen) 6 kHz (SF = 1) nebo 50 Hz (SF = 0).



Obr.7. Příklad je uspořádán pro měření skupiny kondenzátorů v módu CMUX

8.5 Mód 4. C300: 3 kondenzátory, rozsah až do 300 pF

V tomto módu lzxe měřit 3 kondenzátory se společnou elektrodou s rozsahem proměnným až do 300 pF. Zapojení kondenzátorů a vnějších odporů je na *obr.8.* Odpory slouží k nastavení rozsahu změn napětí na vysílacích elektrodách C_{iA}



Obr. 8. Zapojení senzorů k UTI v módu C300

Aby odchylka od linearity byla menší než 10^{-3}, nesmí maximální hodnota celkové kapacity na vývodu A překročit hodnotu 500 pF. Rozkmit napětí na vysílacích elektrodách je roven V_{EF} a může být nastaven externími odpory R_1, R_2 a R_3, na jejichž přesnosti příliš nezáleží. Odpory R_1 nebo R_3 mohou mít i nulovou hodnotu. Stejnosměrné napětí V_{EF} musí vyhovovat podmínce $V_{EF} < K_V/C_{max}$, kde konstanta K_V = 60 V·pF, a C_{max} je maximální hodnota C_{BA}, C_{CA} a C_{DA} vyjádřená v pF.
Celková časová konstanta všech odporů a kondenzátorů musí být menší než 500 ns. Z této podmínky lze určit hodnoty odporů. Příklad. Pro C_{CA} = 300 pF, C_{DA} = 200 pF, C_{BA} = 0 a V_{DD} = 5 V, praktické hodnoty odporů jsou R_1 = 25 kΩ, R_2 = 1 kΩ a R_3 = 0. Rozkmit napětí V_{EF} na vysílací elektrodě dosahuje 0,2 V. Systém obsahuje dvě časové konstanty $C_{tot}\cdot(R_3//(R_1+R_2))$ a $C_{tot}\cdot(R_1//(R_2+R_3))$, kde $C_{tot} = C_{BA}+C_{CA}+C_{DA}+C_p$. Obě časové konstanty musí být menší než 500 ns.
Nelinearita a rozlišovací schopnost v pomalém módu jsou uvedeny v *tab. 10.* Údaje platí pro hodnoty C_{DA} = 0 pF, C_p = 30 pF a maximální hodnotu $V_{EF}K_V/C_{max}$, jak bylo dříve uvedeno. Měření kondenzátorů probíhá postupně v jednotlivých fázích tak, jak je uvedeno v *tab. 11.*

Kondenzátory	Nelinearita	Rozlišení (pF)
C_{BA}=C_{CA}=33 pF	1.4x10^{-4}	1.2x10^{-3}
C_{BA}=C_{CA}=150 pF	1.9x10^{-4}	6.6x10^{-3}
C_{BA}=C_{CA}=270 pF	9.0x10^{-4}	17x10^{-3}
C_{BA}=C_{CA}=330 pF	2.6x10^{-3}	20x10^{-3}
C_{BA}=C_{CA}=560 pF	6.3x10^{-3}	46x10^{-3}

Tab. 10. Nelinearita a rozlišovací schopnost v módu C300

Fáze	Kapacita	Perioda výstupního signálu
1	C_{BA} + C_0	$T_{BA} = NK_1 (C_{BA} + C_O)$
2	C_{CA} +C_0	$T_{CA} = NK_1 (C_{CA} + C_O)$
3	C_{DA} +C_0	$T_{DA} = NK_1 (C_{DA} + C_O)$

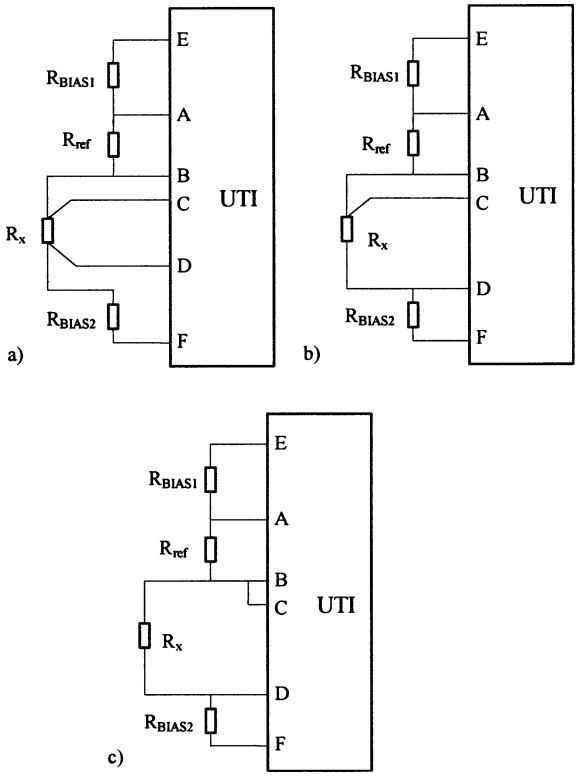
Tab 11. Kondenzátory měřené v jednotlivých fázích módu C300

8.6 Mód 5. Pt: 1 platinový odpor Pt100/ Pt1000, 4-vodičové připojení

V tomto módu se měří odpor jednoho Pt odporového senzoru a jednoho referenčního odporu. Připojení odporů k UTI je na *obr. 9.* Oba odpory jsou měřeny ve čtyřvodičovém uspořádání (2 napěťové monitorovací a 2 proudové napájecí přívody), takže chyby vlivem odporu přívodů jsou vyloučeny. Pravoúhlé napájecí napětí V_{EF} má kmitočet rovný 1/4 kmitočtu interního oscilátoru a amplitudu rovnou V_{DD}. Odpory R_{BIAS1} a R_{BIAS2} slouží k nastavení proudu odporem. Jsou-li oba stejné, přesnost měření je z důvodu symetrie vyšší. Nulová hodnota jednoho z odporů zmenší přesnost, nelinearita se však nezmění. Např. při měření Pt100 nepřesnost dosahuje hodnoty ±40 mΩ. Jeden měřicí cyklus je složen ze čtyř fází, sloužících k získání infomací pro 2-, 3- nebo 4-vodičové měření.

Fáze	Měřená napětí	Periody výstupního sigálu
1	V_0	$T_{off} = NK_2V_0$
2	$V_{AB}+V_0$	$T_{AB} = NK_2 (V_{AB} + V_O)$
3	$V_{CD}+V_0$	$T_{CD} = NK_2 (V_{CD} + V_O)$
4	$V_{BC}+V_0$	$T_{BC} = NK_2 (V_{BC} + V_O)$

Tab. 12. Napětí měřená v jednotlivých fázích při měření Pt odporových senzorů



Obr. 9. Připojení platinových odporových senzorů k UTI čtyřvodičově (a) 3-vodičově (b) a 2-vodičově (c)

Výpočet poměru M známého z rovnice (4), se pro jednotlivá připojení, tj. 2-, 3- a 4- vodičové liší a dává následující výsledky:

$$M_{2-,4-wire} = \frac{T_{phase3} - T_{phase1}}{T_{phase2} - T_{phase1}} = \frac{R_x}{R_{ref}}$$
$$M_{3-wire} = \frac{T_{phase3} - T_{phase4}}{T_{phase2} - T_{phase1}} = \frac{R_x}{R_{ref}} \quad (5)$$

Linearita je lepší než 13 bitů za předpokladu, že rozkmit napětí V_{AB} a V_{CD} je menší než 0,7 V pro V_{DD} = 5V. Pro V_{DD} = 3,3 V musí být rozkmit menší než 0,4 V. Tím je omezen proud platinovým senzorem.

Omezení proudu je vyžadováno také z důvodů zmenšení chyby zahříváním měřicím proudem. Např. pro tepelný odpor 200 K/W (klidný vzduch) při V_{CD} = 0,7 V a 0 °C, způsobuje zahřátí vlivem měřicího proudu chybu 1 K. Je-li takto vzniklá chyba příliš veliká, odpor R_{BIAS} (= R_{BIAS1} + R_{BIAS2}) musí být zvětšen, aby se omezil proud senzorem Pt100. Chyba teploty ohřátím měřeným proudem dosahuje při napětí V_{CD} = 0,2 V hodnotu 80 mK. To je dvakrát menší než počáteční chyba Pt senzoru teploty třídy A. Pro tento případ proud Pt100 má být 2 mA, takže potřebný odpor je R_{BIAS} = R_{BIAS1} + R_{BIAS2} = 2,2 kΩ.

Relativní změna odporu senzoru Pt100 je 3.9x10^{-3}/K. Při proudu 2 mA to odpovídá změně napětí 780 µV/K. Rozlišovací schopnost v tomto módu je 7 µV, tj. v převodu na teplotu 9 mK. Tyto údaje platí pro práci v pomalém módu. *Tab. 13* obsahuje charakteristické údaje UTI při práci v módu Pt.

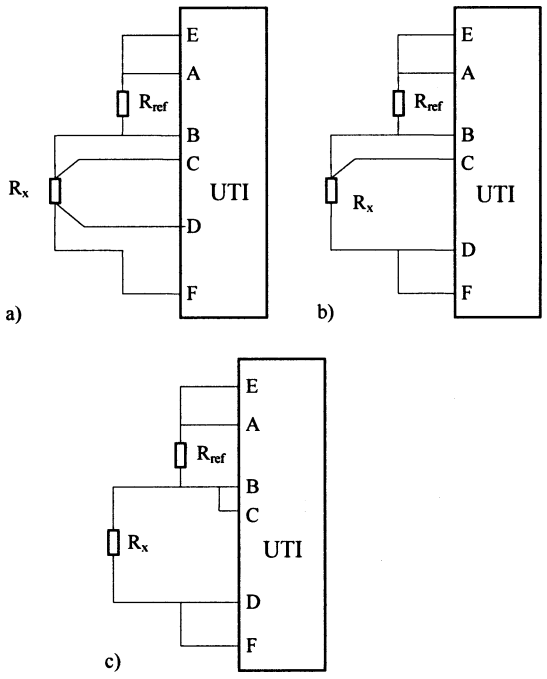
Parametr (V_{DD} = 5 V)	Typická hodnota
K_2	56 µs/V
V_0	0,36 V
R_{BIAS} (Pt100, ohřev měř. proudem při tep. odporu 200 K/W = 80 mK)	2,2 kΩ (5%), I = 2 mA
R_{BIAS} (Pt1000, ohřev měř. proudem při tep. odporu 200 K/W = 80 mK)	6.2 kΩ (5%), I = 600 mA
Budící proud z vývodů E a F	20 mA
Posuv nuly (ofset)	10 µV
Linearita	13 bitů
Rozlišení (SF = 0) (Pt100, 2 mA)	14 bitů (9 mK)

Tab. 13 Údaje pro Pt mód.

Zvyšováním amplitudy napětí V_{CD} a V_{AB} až na 2,5 V (rozkmit) lze dosáhnout velmi dobré rozlišovací schopnosti. Vznikají však přídavné chyby nelinearity a ohřevem měřicím proudem. Pro rozkmit napětí v rozmezí 0,7-2,5 V klesá linearita na 8 bitů. Odporové senzory Pt mohou být měřeny také v módu 11.

8.7 Mód 6. Ther: 1 termistor, 4-přívody

V tomto módu se měří odpor jednoho termistoru a jednoho referenčního odporu. Připojení termistoru a referenčního odporu k UTI je na *obr. 10*.



Obr. 10. Připojení termistoru k UTI: čtyřvodičově (a), třívodičově (b) a dvovodičově (c)

Budící napětí V_{EF} střídá polaritu a má amplitudu $V_{DD}/12.5$ (0,4 V při V_{DD} = 5 V) a stejnosměrnou složku $V_{DD}/2$.
Poměr odporů termistoru a referenčního odporu je určen vztahy (6). Přehled signálů měřených v různých fázích podává *tab. 12*. Napětí V_{AB} není stálé a nese stejnou informaci o teplotě jako V_{CD}. Tím se zlepšuje linearita charakteristiky senzoru. Pozn. Jde o známou linearizaci sériovým odporem voleným tak, aby inflexní bod závislosti proudu na teplotě nastal uprostřed rozsahu. Tab. 14 obsahuje charakteristické údaje při práci v módu Ther.

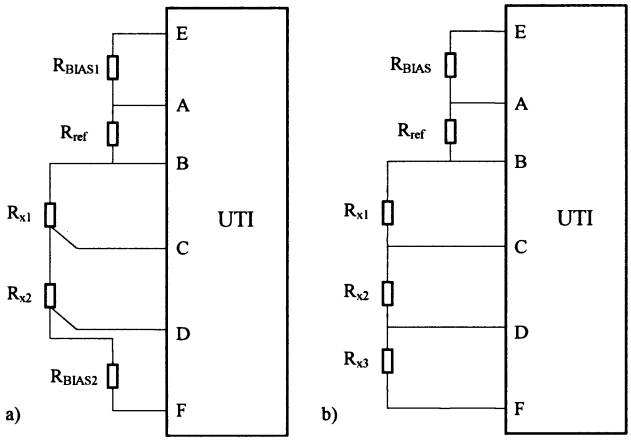
Parametr (V_{DD} = 5 V)	Typické hodnoty
K_2	56 ms/V
V_0	0.36 V
$R_{ref}//R_x$	<5 kΩ
$R_{ref}+R_x$	>1 kΩ
Offset	10 μV
Linearita	13 bitů
Rozlišení (SF = 0)	7 μV (1 mK)

Tab 14. Údaje pro činnost v módu Ther

Velké a malé hodnoty hodnoty R_x (10-krát nebo 0,1-krát R_{ref}) způsobí pokles teplotní rozlišovací schopnosti, napěťová rozlišovací schopnost se však nezmění. Teplotní rozlišovací schopnost termistoru s teplotním součinitelem 4 %/K je rovna 1 mK při V_{DD} = 5 V.

8.8 Mód 7. Pt2: 2 nebo 3 Pt senzory

Tento mód je vhodný pro měření 2 nebo 3 platinových odporových senzorů teploty. Připojení senzorů k UTI je na *obr. 11*. Napětí V_{EF} je stejné jako v módu Pt.



Obr. 11. Připojení dvou (a) nebo tří (b) Pt odporových senzorů teploty k UTI v módu Pt2

Pro proud senzorem platí stejné omezení jako v módu Pt. Základní údaje pro tento mód jsou v *tab. 13*. Odpor R_{x2} můžeme měřit ve čtyřvodičovém zapojení. Ve fázi 5 lze měřit odpor jednoho přívodu nebo odpor R_{x3}.
Jak je uvedeno v *tab 15*, hlavní rozdíl módu Pt2 vůči módu Pt spočívá v tom, že v Pt módu je jeden cyklus složen z 5-ti fází.

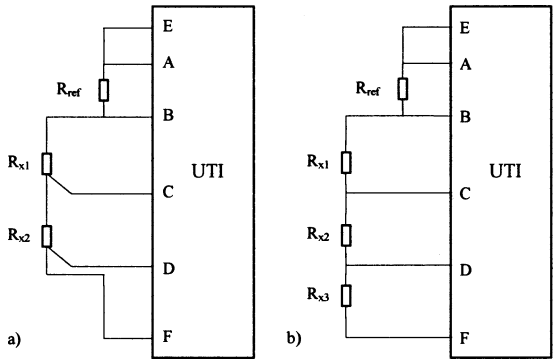
Fáze	Měřená napětí	Periody výstupního signálu
1	V_0	$T_{off} = NK_2V_0$
2	$V_{AB}+V_0$	$T_{AB} = NK_2 (V_{AB} + V_O)$
3	$V_{CD}+V_0$	$T_{CD} = NK_2 (V_{CD} + V_O)$
4	$V_{BC}+V_0$	$T_{BC} = NK_2 (V_{BC} + V_O)$
5	$V_{DF}+V_0$	$T_{DF} = NK_2 (V_{DF} + V_O)$

Tab. 15. Napětí měřená v jednotlivých fázích módu Pt2

Jeden z odporů R_{BIAS1} nebo R_{BIAS2} na obr. 11(a) může mít nulovou hodnotu, avšak za cenu znížení přesnosti. Při zapojení podle obr. 11(b) není vyloučen vliv odporu přívodů. Při měření R_{x3} v zapojení podle obr. 11(b) odpor přívodů uvnitř UTI způsobí chybu ekvivalentní změně 0,9 Ω pro senzor Pt100 a 3 Ω pro senzor Pt1000. Tato chyba závisí na teplotě a napájecím proudu senzorů.

8.9 Mód 8. Ther2: 2 nebo 3 termistory

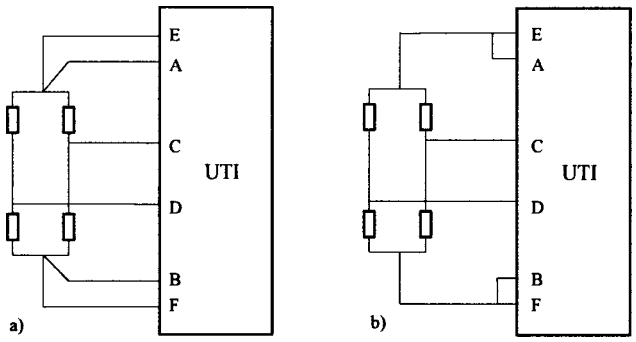
Tento mód je určen pro měření 2 nebo 3 termistorů. Připojení termistorů je na obr. 12. Měření probíhá v 5-ti fázích ve sledu uvedeném v tab. 15. Údaje v tabulce 15 platí také pro tento mód.
Při zapojení podle obr. 11 (b) není vyloučen vliv odporu přívodů. Při měření R_{x3} v zapojení podle obr. 11 (b) odpor přívodů uvnitř UTI způsobí chybu ekvivalentní změně 11,5 Ω pro odpor o hodnotě 2,5 kΩ. Tato chyba závisí na teplotě a napájecím proudu termistoru.



Obr. 12. Připojení 2 (a) a 3 (b) termistorů k UTI

8.10 Mód 9. Ub2: odporový můstek, ref. napětí je V_{bridge}, nerovnováha +/- 4%

Tento mód je určen pro měření se senzory zapojenými v odporovém můstku. Pak poměr výstupního V_{CD} a napájecího napětí můstku V_{AB} odpovídá měřené fyzikální veličině.
Nerovnováha můstku měřitelná v tomto módu je +/- 4 %.
Připojení můstku k UTI je na obr. 13. Napájecí napětí můstku V_{EF} je pravoúhlé s amplitudou V_{DD} a kmitočtem rovným 1/4 kmitočtu interního oscilátoru.
Na obr. 13 (a) je čtyřvodičové zapojení s proudovými a napěťovými vodiči. Signály měřené v jednotlivých fázích jsou uvedeny v *tab. 16*.



Obr. 13. Připojení odporového můstku k UTI při měření v módu Ub2 ve 4-vodičovém (a) a 2-vodičovém (b) zapojení

Ve fázi 2 se měří napájecí napětí můstku V_{AB}. Toto napětí je vyděleno v poměru 32 přesným děličem realizovaným na čipu. Dělič nevyžaduje kalibraci. Vydělené napětí V_{AB} je pak zpracováno stejně jako napětí V_{CD}.

Fáze	Měřená napětí	Periody výstupního signálu
1	V_0	$T_{off} = NK_2V_0$
2	$V_{AB}/32 + V_0$	$T_{AB} = NK_2 (V_{AB}/32 + V_O)$
3	$V_{CD} + V_0$	$T_{CD} = NK_2 (V_{CD} + V_O)$

Tab. 16. Napětí měřená v jednotlivých fázích – mód Ub2

Mikrokontrolér vypočítává nerovnováhu ze vztahu:

$$M = \frac{1}{32}\frac{T_{phase3} - T_{phase1}}{T_{phase2} - T_{phase1}} = \frac{V_{CD}}{V_{AB}} \qquad (6)$$

Parametr	Typická hodnota
K_2	56 µs/V
V_0	0,54 V
Napájení můstku	AC V_{DD}
Budící proud z E a F	20 mA
Můstkový odpor R_b	250 Ω < R_b < 10 kΩ
Výstupní napětí můstku	max +/- 0.2V
Přesnost	11 bits
Ofset	10 µV
Rozlišení (SF = 0)	7 µV

Tab. 17. Základní údaje pro mód Ub2

8.11 Mód 10. Ub1: odporový můstek, ref. V_{bridge}, nerovnováha +/- 0.25%

Tento mód je určen pro měření se senzory zapojenými v odporovém můstku, kdy poměr výstupního V_{CD} a napájecího napětí můstku V_{AB} odpovídá měřené fyzikální veličině (viz obr. 13).
Mód Ub1 se liší od módu Ub2 dovolenou hodnotou nerovnováhy 0,25%. (V_{CD} = 12.5 mV pro V_{DD} = 5V).
Připojení můstku k UTI je stejné jako u módu Ub2. Interní napěťový zesilovač zesiluje malé výstupní napětí 15–krát. Po zesílení je zpracováno stejně jako interním děličem zmenšené napájecí napětí můstku. Zesilovač ani dělič nevyžadují kalibraci. K výpočtu nerovnováhy lze opět použít rovnici (7) s tím, že místo hodnoty 32 dosadíme 480. K připojení můstku lze použít čtyř vodičů.

Výčet napětí měřených v jednotlivých fázích je uveden v *tab. 18*, základní údaje obsahuje *tab. 19*.

Fáze	Měřená napětí	Perioda výstupního signálu
1	V_0	$T_{off} = NK_2V_0$
2	$V_{AB}/32 + V_0$	$T_{AB} = NK_2 (V_{AB}/32 + V_O)$
3	$15V_{CD} + V_0$	$T_{CD} = NK_2 (15 \cdot V_{CD} + V_O)$

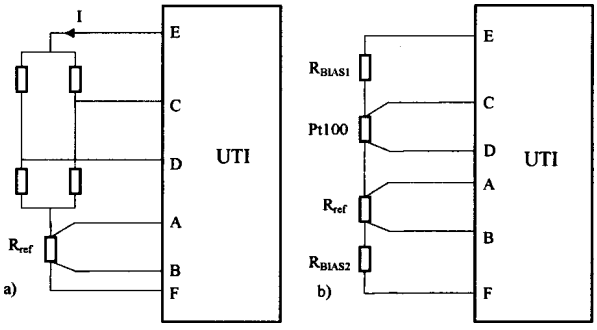
Tab. 18. Napětí měřená v jednotlivých fázích módu Ub1

Parametr	Typické hodnoty
K_2	56 µs/V
V_0	0.54 V
Napájení můstku	AC V_{DD}
Budící proud z E a F	20 mA
Můstkový odpor R_b	250 Ω < R_b < 10 kΩ
Výstupní napětí můstku	max +/- 12.5 mV
Přesnost	10 bits
Ofset	10 µV
Rozlišení (SF = 0)	700 nV

Tab. 19. Údaje pro mód Ub1

8.12 Mód 11. Ib2: odporový můstek, ref.proud I_{bridge}, nerovnováha +/- 4%

Tento mód je vhodný pro aplikace v nichž je měřená veličina reprezentována výstupním napětím můstku a proudem jím protékajícím. Proud můstkem je převeden na referenční napětí. Zapojení můstku a referenčního prvku je na *obr. 14(a)*.
Odpor R_{ref} volíme tak, aby platilo 0,1 V <V_{AB} < 0,2 V.
Jak je ukázáno na *obr. 14 (b)*, mohou být v tomto módu měřeny Pt odporové senzory ve čtyřvodičovém uspořádání. Ve srovnání s módem Pt je výhodné, že k měření postačí pouze 3 fáze.



Obr. 14. Připojení odporového můstku a referenčního odporu k UTI (a) a čtyřvodičové připojení Pt (b).

Fáze	Měřená napětí	Periody výstupního signálu
1	V_0	$T_{off} = NK_2V_0$
2	$V_{AB} + V_0$	$T_{AB} = NK_2 (V_{AB} + V_O)$
3	$V_{CD} + V_0$	$T_{CD} = NK_2 (V_{CD} + V_O)$

Tab. 20. Napětí měřená ve fázích módu Ib2

Parametr	Typická hodnota
K_2	56 µs/V
V_0	0,54 V
Můstkové napětí	AC V_{DD}
Budící proud z E a F	20 mA
Můstkový odpor R_b	250 Ω < R_b < 10 kΩ
Výstupní napětí můstku	max +/- 0.2 V
Přesnost	12 bitů
Ofset	10 µV
Rozlišení (SF=0)	7 µV

Tab. 21. Parametry módu Ib2

8.13 Mód 12. Ib1: odporový můstek, ref. je I_{bridge}, nerovnováha +/-0.25%

Činnost je obdobná jako v módu 11. Zapojení můstku a odporů je na *obr. 14*.

Mód 12 se liší od módu 11 hodnotou nerovnováhy můstku, v módu 12 je rovna +/- 0,25 %. Pro napětí U_{ref} na referenčním odporu platí 0,1 V< U_{ref}<0,2 V.

Můstkové výstupní napětí je zesíleno 15-krát a pak zpracováno stejně jako referenční. Napětí měřená v jednotlivých fázích jsou uvedena v *tab. 22* a charakteristické údaje pro mód Ib1 v *tab. 23*.

Fáze	Měřená napětí	Perioda výstupního sig.
1	V_0	$T_{off} = NK_2V_0$
2	$V_{AB} + V_0$	$T_{AB} = NK_2 (V_{AB} + V_O)$
3	$15V_{CD} + V_0$	$T_{CD} = NK_2 (15V_{CD} + V_O)$

Tab. 22. Napětí měřená ve fázích módu Ib1

Mikrokotrolér vypočítává nerovnováhu můstku ze vztahu:

$$M = \frac{1}{15}\frac{T_{phase3} - T_{phase1}}{T_{phase2} - T_{phase1}} = \frac{V_{CD}}{IR_{ref}} \qquad (7)$$

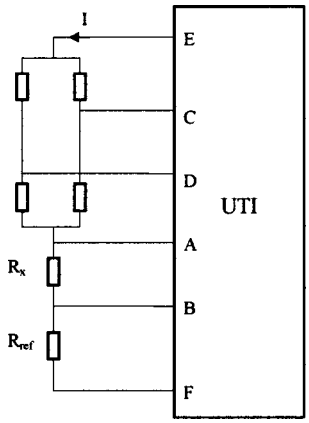
Parametr	Typické hodnoty
K_2	56 µs/V
V_0	0,54 V
Napájení můstku	AC V_{DD}
Budící proud z E a F	20 mA
Můstkový odpor R_b	250 Ω < R_b < 10 kΩ
Výstupní napětí můstku	max +/- 12,5 mV
Přesnost	10 bits
Ofset	10 µV
Rozlišení (SF = 0)	700 nV

Tab. 23. Charakteristické údaje pro mód Ib1

8.14 Mód 13. Brg2: odporový můstek +/- 4% a 2 odpory

Tento mód je určen k měření odporovým můstkem s maximální hodnotou nerovnováhy +/- 4 % a dvou odporů. Jeden z odporů může být teplotně závislý, takže teplotní závislost výstupu můstku může být číslicově korigována. V tomto módu se měří jak napětí na můstku, tak i proud protékající můstkem. ***Pravoúhlé napětí V_{EF} má amplitudu V_{DD} a kmitočet rovný 1/4 kmitočtu oscilátoru. Pro napětí na R_{ref} musí platit 0,1 V <U_{ref} < 0,2V.***

Měřená napětí jsou uvedena v *tab. 24* a další údaje v *tab. 25*.



Obr. 15. Připojení senzorů k UTI v módu 13

Fáze	Měřená napětí	Periody výstupního signálu
1	V_0	$T_{off} = NK_2V_0$
2	$V_{AB}+V_0$	$T_{AB} = NK_2 (V_{AB} + V_O)$
3	$V_{CD}+V_0$	$T_{CD} = NK_2 (V_{CD} + V_O)$
4	$V_{BF}+V_0$	$T_{BF} = NK_2 (V_{BF} + V_O)$
5	$V_{EA}/32+V_0$	$T_{EA} = NK_2 (V_{EA}/32 + V_O)$

Tab. 24. Signály ve fázích módu Brg2

Napětí na můstku V_{EA} je děleno 32-krát a pak zpracováno stejně jako ostatní měřená napětí. Napětí můstkové nerovnováhy určuje vztah:

$$M = \frac{1}{32}\frac{T_{phase3} - T_{phase1}}{T_{phase5} - T_{phase1}} = \frac{V_{CD}}{V_{EA}} \qquad (8)$$

Parametr	Typické hodnoty
K_2	56 µs/V
V_0	0,54 V
Buzení V_{EF}	AC V_{DD}
Budící proud z E a F	20 mA
Můstkový odpor R_b	250 Ω < R_b < 10 kΩ
Výstupní napětí můstku	max +/- 0.2 V
Přesnost V_{CD}/V_{EA}	11 bitů
Linearita V_{AB}/V_{BF}	12 bitů
Ofset V_{CD} nebo V_{AB}	10 µV
Rozlišení (SF = 0)	7 µV

Tab. 25. Údaje pro mód Brg2

Vnitřní spojovací vodiče UTI mohou při měření V_{BF} způsobit chybu, která pak při určování poměru V_{AB}/V_{BF} dosáhne asi 1,2 % .Tato chyba závisí na napájecím proudu můstku a teplotě.

8.15 Mód 14. Brg1: odporový můstek +/- 0.25% a 2 odpory

Mód 14 je podobný módu 13 a jeho zapojení je uvedeno na obr. *15*. Dovolená nerovnováha můstku je nyní na rozdíl od

módu 13 rovna 0,25 %. Výstupní napětí můstku je před dalším zpracováním 15-krát zesíleno.
Napětí měřená v jednotlivých fázích módu jsou v tab. 26 a charakteristické údaje módu v tab. 27.

Fáze	Měřená napětí	Perioda výstupního signálu
1	V_0	$T_{off} = NK_2V_0$
2	$V_{AB} + V_0$	$T_{AB} = NK_2 (V_{AB} + V_O)$
3	$15V_{CD} + V_0$	$T_{CD} = NK_2 (15V_{CD} + V_O)$
4	$V_{BF} + V_0$	$T_{BF} = NK_2 (V_{BF} + V_O)$
5	$V_{EA}/32 + V_0$	$T_{EA} = NK_2 (V_{EA}/32 + V_O)$

Tabulka 26. Napětí měřená ve fázích módu Brg1

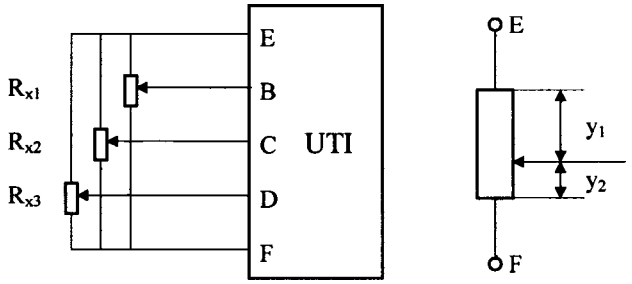
Parametr	Typická hodnota
K_2	56 µs/V
V_0	0,54 V
Buzení V_{EF}	AC V_{DD}
Budící proud z E a F	20 mA
Odpor můstku R_b	250 Ω < R_b < 10 kΩ
Výstupní napětí můstku	max +/- 12.5 mV
Přesnost poměru V_{CD}/V_{EA}	10 bits
Linearita poměru V_{AB}/V_{BF}	12 bits
Ofset V_{CD}	10 µV
Ofset V_{AB}	10 µV
Rozlišení V_{CD} (SF = 0)	700 nV
Rozlišení V_{AB} (SF = 0)	7 µV

Tabulka 27. Parametry módu Brg1

Odpory vnitřních spojovacích vodičů UTI způsobují při určování poměru V_{AB}/V_{BF} chybu asi 1,2 %. Chyba je závislá na napájecím proudu můstku a teplotě.

8.16 Mód 15. Potm: 3 potenciometry, 1 kΩ-25 kΩ

Tento mód je určen k měření napětí na běžcích tří potenciometrů s odpory v rozmezí 1 kΩ až 50 kΩ. Připojení potenciometrů k UTI je na *obr. 16*. Je-li připojen pouze jeden potenciometr s jezdcem přivedeným např. k vývodu B, další vývody C a D musí být spojeny s vývodem F. Napětí na potenciometrech má pravoúhlý tvar s amplitudou V_{DD} a kmitočtem rovným 1/4 kmitočtu interního oscilátoru.



Obr. 16. Připojení potenciometrů k UTI

Účinky přívodů k potenciometru nelze v tomto módu kompenzovat. Proto tento mód není vhodný pro potenciometry s malým odporem.

Výčet napětí měřených v jednotlivých fázích módu je uveden v tab. 28.

Fáze	Měřená napětí	Perioda výstupního signálu
1	V_0	$T_{off} = NK_2V_0$
2	$V_{EF}+V_0$	$T_{EF} = NK_2 (V_{EF} + V_O)$
3	$V_{CF}+V_0$	$T_{CF} = NK_2 (V_{CF} + V_O)$
4	$V_{BF}+V_0$	$T_{BF} = NK_2 (V_{BF} + V_O)$
5	$V_{DF}+V_0$	$T_{DF} = NK_2 (V_{DF} + V_O)$

Tabulka 28. Napětí měřená v jednotlivých fázích v režimu měření s potenciometry

Relativní poloha jezdce potenciometru se určí ze vztahu:

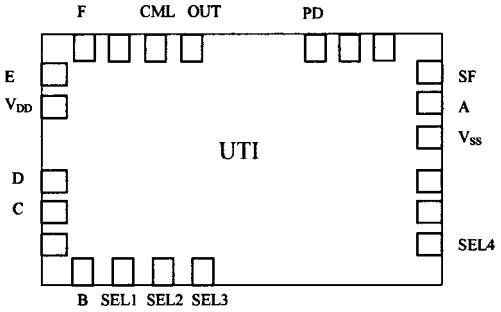
$$M = \frac{T_{phase3,4,5} - T_{phase1}}{T_{phase2} - T_{phase1}} = \frac{y_2}{y_1 + y_2} \qquad (9)$$

Parametr	Typická hodnota
K_2	4 µs/V
V_0	5 V
Odpor potenciometru R_{xi}	1 kΩ < R_{xi} < 25 kΩ
Přesnost	10^{-3}
Rozlišení (SF = 0)	14 bitů

Tab. 29 Parametry módu Potm

9. Rozměry čipu

Podložka s čipem UTI je zobrazena na *obr. 17*. Rozměry čipu jsou 3,1 mm x 2,1 mm.



Obr. 17. Uspořádání podložky s čipem UTI

10. Vývojová stavebnice (kit)

Pro vývoj aplikací s UTI je dodávána vývojová stavebnice (development kit). Stavebnice je přímo připojitelná k osobnímu počítači PC. Další praktické informace o použití UTI jsou uvedeny v Aplikačních zprávách UTI.

V případě zájmu o další informace, příp. vzorky obraťte se prosím na adresu:
OMNITRON s.r.o., Dopraváků 723, 184 00 Praha 8
Tel.: 02/830 85 244, 5 (02/2830 85 244, 5)
Fax: 02/830 85 295 (02/2830 85 295)
www.omnitron.cz; www.smartec.nl; www.smartec.cz
e-mail: info@omnitron.cz