

OBSAH

1. ÚVOD	11
2. TEORIE MŮSTKOVÉHO ČTYRPOLU	16
2.1. Obecný tvar tensometrického můstku	16
2.2. Můstek naprázdno	18
2.21. Podmínky rovnováhy	18
2.22. Napěťová funkce	19
2.23. Vyvážení můstku naprázdno	20
2.24. Příkon můstku naprázdno	21
2.3. Zatížený můstek	22
2.31. Podmínky rovnováhy	23
2.32. Proudová funkce	23
2.33. Zjednodušení proudové funkce	25
2.34. Vyvážení zatíženého můstku	26
2.35. Proudové ve větvích zatíženého můstku	26
2.36. Příkon zatíženého můstku	27
2.37. Vliv vnitřního odporu zdroje	28
2.4. Závěr	29
3. CITLIVOST MŮSTKU PRO ODPOROVÉ TENSOMETRY	30
3.1. Definice citlivosti	30
3.2. Citlivost tensometrického můstku naprázdno	31
3.3. Citlivost můstku s proudovým indikátorem	33
3.31. Obecný případ	33
3.32. Proudová citlivost tensometrického můstku	34
3.33. Volba zapojení	36
3.4. Citlivost můstku s galvanoměrem	37
3.41. Výchylka galvanoměru	38
3.42. Optimální přizpůsobení galvanoměru	39
3.43. Citlivost můstku s galvanoměrem	40
3.44. Tensometrický můstek s galvanoměrem	41
3.45. Návrh tensometrického můstku	43
3.46. Kritické tlumení galvanoměru	43
3.5. Optimální tvar tensometru	45
3.51. Pracovní proud vodiče tensometru	45
3.52. Pracovní proud tensometru	46
3.53. Korekční faktor	47
3.54. Odpor tensometru	49

3.55. Tvar tensometru pro můstek naprázdno	49
3.56. Můstek s galvanoměrem	51
3.6. Závěr	51
4. ZÁSADY VÝPOČTU TENSOMETRICKÝCH MŮSTKŮ	52
4.1. Deformační funkce	52
4.11. Deformační citlivost vodiče	53
4.12. Deformační citlivost tensometru	54
4.13. Deformační rovnice tensometru v obecném tvaru	55
4.2. Deformační rovnice	56
4.3. Stanovení přesnosti výpočtů	57
4.31. Řád aproximace	57
4.32. Zjednodušení deformačních rovnic	58
4.33. Aproximace prvního řádu	59
4.4. Závěr	60
5. TENSOMETRICKÉ MŮSTKY PRO NULOVOU METODU	61
5.1. Zapojení tensometrů	62
5.11. Jedna aktivní větev	62
5.12. Dvě aktivní větve	63
5.2. Můstek ve Wheatstonově zapojení	64
5.21. Můstek podle Huggenbergera	65
5.22. Muellerův můstek	67
5.3. Můstek v Kelvinově-Warleyově zapojení	70
5.31. Můstek Tinsley typ 4907	72
5.32. Vliv nerovnosti odporů R a T	73
5.33. Můstek HS-5	74
5.34. Přizpůsobení můstku deformační citlivosti tensometru	75
5.4. Asymetrický můstek G. V. A. Gustafssona	76
5.41. Volba poměru n	76
5.42. Vliv odchylek K a R od jmenovité hodnoty	77
5.5. Elektromechanický můstek fy Baldwin	79
5.51. Podmínky vyvážení	80
5.52. Rozšíření měřicího rozsahu	81
5.6. Závěr	83
6. TENSOMETRICKÉ MŮSTKY PRO VÝCHYLKOVOU METODU	84
6.1. Zapojení tensometrů	84
6.11. Dvě aktivní větve protilehlé	85
6.12. Čtyři aktivní větve	86
6.2. Můstek naprázdno	87
6.21. Osa symetrie	87
6.22. Můstek symetrický k diagonále NI	88
6.221. Vliv nerovnosti odporů R a T resp. S a U	88
6.222. Výhody a nevýhody zapojení	90

6.23.	Můstek symetrický k diagonále zdroje B	91
6.231.	Můstek s poměrem $n < 0,1$	92
6.232.	Gustafssonovo zapojení	92
6.233.	Můstek s poměrem $n = 1$	95
6.234.	Vliv odchylky od symetrie u můstku symetrického k B	95
6.235.	Výhody a nevýhody zapojení	97
6.24.	Potenciometrické zapojení	98
6.3.	Můstek zatížený proudovým indikátorem	99
6.31.	Proudová funkce	99
6.32.	Zatížený můstek symetrický k diagonále NI	100
6.321.	Vliv nerovnosti odporů R a T resp. S a U	101
6.33.	Zatížený můstek symetrický k diagonále B	101
6.331.	Můstek symetrický k oběma osám	107
6.332.	Zatížený můstek s poměrem $n \neq 1$	110
6.333.	Zatížený můstek pro měření ε_r	110
6.334.	Zatížený můstek pro měření $\Delta l/l$	112
6.335.	Vliv odchylky od symetrie	114
6.34.	Porovnání zatížených můstků	114
6.35.	Vliv počáteční nerovnováhy	115
6.4.	Vliv vnitřního odporu zdroje napájecího napětí	116
6.5.	Cejchování tensometrických můstků	119
6.6.	Souhrn	124
7.	NAPÁJENÍ TENSOMETRICKÝCH MŮSTKŮ A NULOVÉ INDIKÁTORY	126
7.1.	Časová funkce $\Delta e(t)$	126
7.2.	Stejnoseměrný můstek	127
7.21.	Stejnoseměrné zdroje	128
7.22.	Napěťová funkce ss můstku	128
7.23.	Indikátory pro statická měření ss můstky	129
7.24.	Registrační zařízení pro dynamická měření	130
7.25.	Zhodnocení ss můstků	131
7.3.	Střídavé můstky	132
7.31.	Střídavé zdroje	132
7.32.	Napěťová funkce st můstků	133
7.33.	Indikátory pro statická měření st můstky	134
7.331.	Synchronní detektor	135
7.332.	Elektrické synchronní detektory	137
7.333.	Měření výchylkovou metodou	142
7.34.	Dynamická měření st můstky	142
7.341.	Synchronní demodulace	143
7.342.	Injekce nosné vlny	143
7.343.	Optický diskriminátor	146
7.35.	Volba kmitočtu	148
7.351.	Statická měření	148
7.352.	Dynamická měření	148
7.36.	Zhodnocení st můstků	154

7.4. Můstky napájené impulsově	155
7.41. Vlastnosti impulsových můstků	156
7.411. Zvětšení citlivosti	156
7.412. Časový multiplex	157
7.413. Rozšíření kmitočtového rozsahu	158
7.42. Zdroje impulsového napětí	158
7.43. Napěťová funkce impulsového můstku	159
7.44. Indikátory pro statická měření impulsovými můstky	160
7.441. Impulsová charakteristika zesilovače	161
7.442. Zapojení impulsového zesilovače	163
7.443. Synchronní spínače	164
7.444. Stejnoseměrný elektronkový voltmetr	166
7.45. Dynamická měření impulsovými můstky	167
7.451. Zařízení s telemetrickým přepínačem	168
7.452. Elektronické zařízení	169
7.453. Elektronický spínač	170
7.46. Volba parametrů impulsového napětí	171
7.461. Statická měření	171
7.462. Dynamická měření	172
7.47. Použití impulsových můstků	173
7.5. Závěr	174
7.6. Dodatek: Frekvenční rozsah odporových tensometrů	174
7.61. Lepené odporové tensometry	174
7.62. Nelepené odporové tensometry	176
8. VEDLEJŠÍ VLIVY PŘI MĚŘENÍ ODPOROVÝMI TENSOMETRY	177
8.1. Parazitní odpory	178
8.11. Vliv odporů r_3 a r_4	178
8.12. Vliv odporů r_1 a r_2	178
8.13. Změny r_1 a r_2 vlivem teploty	180
8.14. Odpor přepínače a svorek	181
8.15. Isolační odpory	181
8.16. Odpor tensometru proti zemi	182
8.17. Vyloučení vlivu parazitních odporů	185
8.171. Můstek fy Tinsley	185
8.172. Dvojnásobný můstek	186
8.173. Dvojitý můstek Kelvinův	187
8.174. Můstek fy Philips	188
8.175. Můstek HS-5	189
8.18. Počáteční vyvážení můstku	191
8.181. Obvody pro přímé vyvážení	191
8.182. Obvody pro nepřímé vyvážení	194
8.2. Rozptylové kapacity	195
8.21. Velikost rozptylových kapacit	196
8.22. Náhradní schéma můstku s rozptylovými kapacitami	197
8.23. Stejnoseměrný můstek s kapacitami	197
8.231. Můstek naprázdno se dvěma aktivními tensometry	198
8.232. Můstek naprázdno s jedním aktivním tensometrem	201

8.233.	Zatížený můstek se dvěma aktivními tensometry	202
8.234.	Můstek se čtyřmi tensometry	203
8.24.	Střídavý můstek s rozptylovými kapacitami	205
8.241.	Vektorový diagram st můstku	206
8.242.	Podmínka rovnováhy můstku s kapacitami	207
8.243.	Vliv kapacit na deformační citlivost	208
8.244.	Vliv změny kapacity přívodů	209
8.245.	Vliv napětí e_2	210
8.246.	Můstek s kapacitním vyvážením	211
8.247.	Zatížený můstek se dvěma tensometry	214
8.248.	Můstek podle obr. 131	215
8.25.	Impulsový můstek s rozptylovými kapacitami	217
8.251.	Impulsový můstek podle obr. 130	218
8.252.	Impulsový můstek podle obr. 131	220
8.3.	Rušivá napětí	221
8.31.	Termoelektrická napětí	221
8.32.	Galvanická napětí	224
8.4.	Vliv teploty na odpor tensometru	224
8.41.	Změna odporu tensometru	225
8.42.	Teplotní kompenzace	225
8.5.	Souhrn	226
9.	ZAPOJENÍ MĚŘICÍCH ZAŘÍZENÍ PRO ODPOROVÉ TENSOMETRY	228
9.1.	Můstek Tinsley pro měření výchylkovou metodou	228
9.2.	Střídavý můstek fy Philips GM-4571	229
9.3.	Střídavý můstek pro statická měření HS-5	231
9.4.	Zapojení pro dynamická měření fy Hathaway	232
9.5.	Stejnoseměrný můstek pro čistě dynamická měření	233
9.6.	Střídavý můstek pro dynamická měření s optickým diskriminátorem	235
9.7.	Impulsový dynamický můstek firmy Elliot Brothers	237
9.8.	Stejnoseměrný zesilovač fy Perkin-Elmer	242
9.9.	Souhrn	244