

Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

Fyzikální praktikum ...



Úloha č.

Název úlohy:

Jméno: Obor: FOF FAF FMUZV

Datum měření:

Datum odevzdání:

Připomínky opravujícího:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 5	
Teoretická část	0 - 1	
Výsledky měření	0 - 8	
Diskuse výsledků	0 - 4	
Závěr	0 - 1	
Seznam použité literatury	0 - 1	
Celkem	max. 20	

Posuzoval:.....

dne:

Pracovní úkoly

1. Změřte účinník:
 - (a) rezistoru,
 - (b) kondenzátoru ($C = 10 \mu\text{F}$),
 - (c) cívky.
2. Spočtete fázový posun proudu a napětí. Určete chybu měření. Diskutujte shodu výsledků s teoretickými hodnotami pro ideální prvky.
3. Pro cívku vypočtete indukčnost a odpor v sériovém a paralelním náhradním zapojení.
4. Změřte účinník sériového a paralelního zapojení rezistoru a kondenzátoru pro kapacity v intervalu $C = 1\text{--}10 \mu\text{F}$ a spočtete fázový posuv. Výsledky zpracujte graficky. Z naměřených hodnot stanovte odpor rezistoru a porovnejte ho s hodnotou přímo naměřenou digitálním multimetrem. Určete chyby měření a rozhodněte, které z obou zapojení je v daném případě vhodnější pro stanovení odporu.
5. Změřte závislost proudu a výkonu na velikosti kapacity zařazené do sériového RLC obvodu pro kapacity do $10 \mu\text{F}$. Výsledky zpracujte graficky, v závislosti na zařazené kapacitě vynesete účinník, fázový posuv napětí vůči proudu a výkon.
6. V průběhu měření sériového RC obvodu připojte na kondenzátor digitální osciloskop Tektronix a pozorujte změnu fáze napětí na kondenzátoru vzhledem k průběhu napětí zdroje v závislosti na velikosti nastavené kapacity v intervalu $1\text{--}10 \mu\text{F}$. Popište kvalitativně pozorované jevy a vysvětlete je. Stručný popis ovládání a schema připojení osciloskopu je přiloženo u úlohy.

Teoretická část

Střední hodnota výkonu v obvodu protékaným střídavým proudem harmonického průběhu nezáleží jen na efektivních hodnotách proudu a napětí, ale také na jejich vzájemném fázovém posuvu [1]

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t)dt = \frac{U_0 I_0}{2} \cos \varphi = UI \cos \varphi, \quad (1)$$

kde U_0 , I_0 jsou špičkové hodnoty napětí a proudu, U , I efektivní a φ je fázový posuv proudu vůči napětí. Výraz $(\cos \varphi)$ se nazývá účinník.

Na rezistoru nedochází k posuvu proudu a napětí, proto je účinník rovný jedné.

Na kondenzátoru dochází k posuvu $\varphi = -\pi/2$ a tedy účinník bude rovný nule. Vlastnosti reálného kondenzátoru se téměř neliší od ideálního.

Na ideální indukčnosti dochází k posuvu $\varphi = \pi/2$ a účinník by měl být rovný nule. Reálné cívky mají vlastní odpor a proto se používá náhradní zapojení, kdy reálnou cívku nahradíme ideální indukčností a odporem buď sériově nebo paralelně tak, aby výsledná impedance byla stejná.

Pro sériové zapojení indukčnosti L_S a odporu R_S platí [1]

$$R_S = \frac{U}{I} \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi}} \quad L_S = \frac{1}{\omega} \frac{U}{I} \sqrt{\frac{\tan^2 \varphi}{1 + \tan^2 \varphi}}. \quad (2)$$

Pro paralelní zapojení indukčnosti L_P a odporu R_P platí [1]

$$R_P = \frac{U}{I} \sqrt{1 + \tan^2 \varphi} \quad L_P = \frac{1}{\omega} \frac{U}{I} \sqrt{\frac{1 + \tan^2 \varphi}{\tan^2 \varphi}}. \quad (3)$$

Pokud spojíme sériově, resp. paralelně rezistor a kondenzátor o známé kapacitě C a změříme účinník, můžeme určit velikost odporu R_s , resp. R_p pomocí vztahů

$$R_s = \frac{P}{I^2}, \quad (4)$$

$$R_p = \frac{U^2}{P}. \quad (5)$$

Výsledky měření

Použili jsme síťové napětí ($f \approx 0,02 \text{ rad s}^{-1}$).

Nejdříve jsme změřili účinníky rezistoru, kondenzátoru ($C = 10 \mu\text{F}$) a cívky pomocí analogového a digitálního wattmetru. Při měření analogovým wattmetrem jsme napětí měřili multimetrem MXD 4660A a proud multimetrem MASTECH MY 65, chybu jsme odhadli s ohledem na oscilaci číslic na displeji. Výsledky jsou shrnuty v tabulce 1. Digitální wattmetr umožňoval odečítat přímo účinník, takže ve sloupci $\cos \varphi$ budu uvádět účinník vypočtený z (1) a ve sloupci PF účinník odečtený wattmetrem. Chybu veličin měřených digitálními voltmetrem považujeme za řád poslední číslice na displeji, dále neuvádíme. Chybu analogového wattmetru jsme odhadli podle nejmenšího dílku stupnice, který byl 25 mW. Chyby nepřímě měřených veličin počítáme metodou přenosu chyb, přičemž chybu fázového posuvu φ navíc odhadujeme s ohledem na přesnost metody.

wattmetr	součástka	U (V)	I (mA)	P (W)	$\cos \varphi$	PF	φ (°)
analogový	R	53,6(1)	53,8(2)	2,8(1)	0,97(4)	—	0(13)
	C	57,20(5)	178,0(5)	0,0(1)	0,00(1)	—	-90(1)
	L	56,0(1)	31,90(5)	0,63(1)	0,35(6)	—	70(1)
digitální	R	51,6(1)	52(1)	2,695(1)	1,00(2)	1,00	0(5)
	C	53,7(1)	172(1)	0,016(1)	0,002(1)	0,00	-89,9(1)
	L	52,5(1)	30(1)	0,645(1)	0,41(2)	0,40	65,8(2)

Tabulka 1: Účinník rezistoru, kondenzátoru a cívky

Podle (2) a (3) jsme určili sériové

$$R_S = 720(50) \Omega \quad L_S = 5,1(2) \text{ H}$$

a paralelní

$$R_P = 4270(50) \Omega \quad L_P = 6,1(2) \text{ H}$$

náhradní zapojení cívky. K výpočtu jsme použili hodnoty z digitálního wattmetru, protože jsou přesnější.

Změřili jsme účinník sériového a paralelního RC obvodu. Výsledky jsou shrnuty v tabulce 2 a grafech 1 a 2. Chybu kapacitní dekadý odhadujeme na 1 %. Chybu ostatních veličin považujeme za řád poslední uvedené číslice. Chybu odporu jsme počítali metodou přenosu chyb ze vzorců (4) a (5).

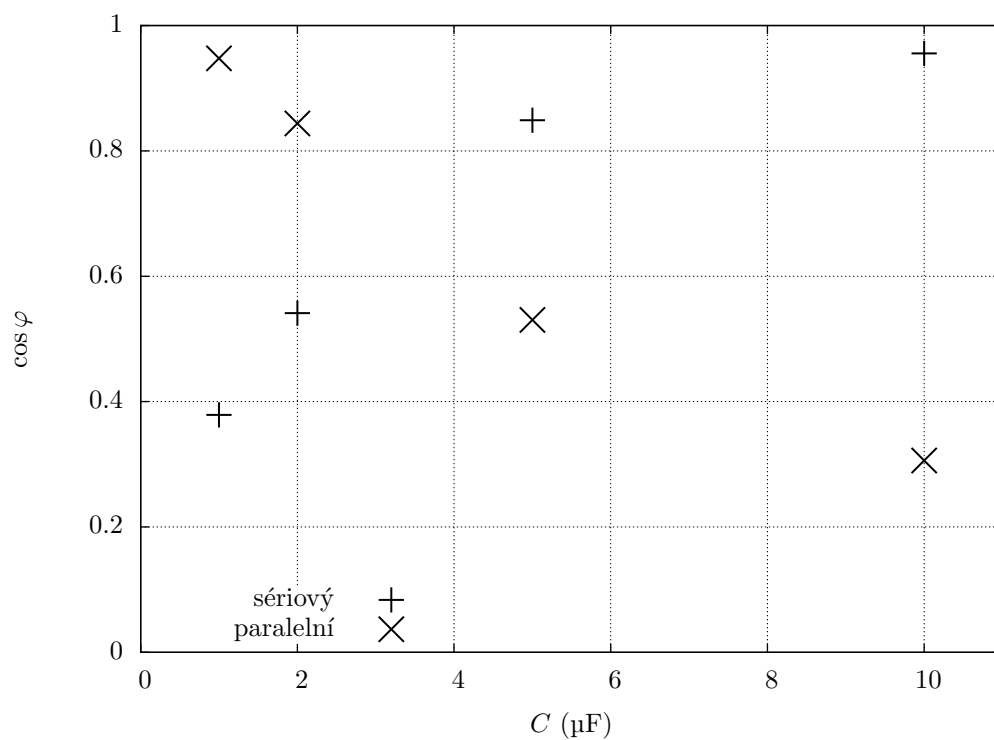
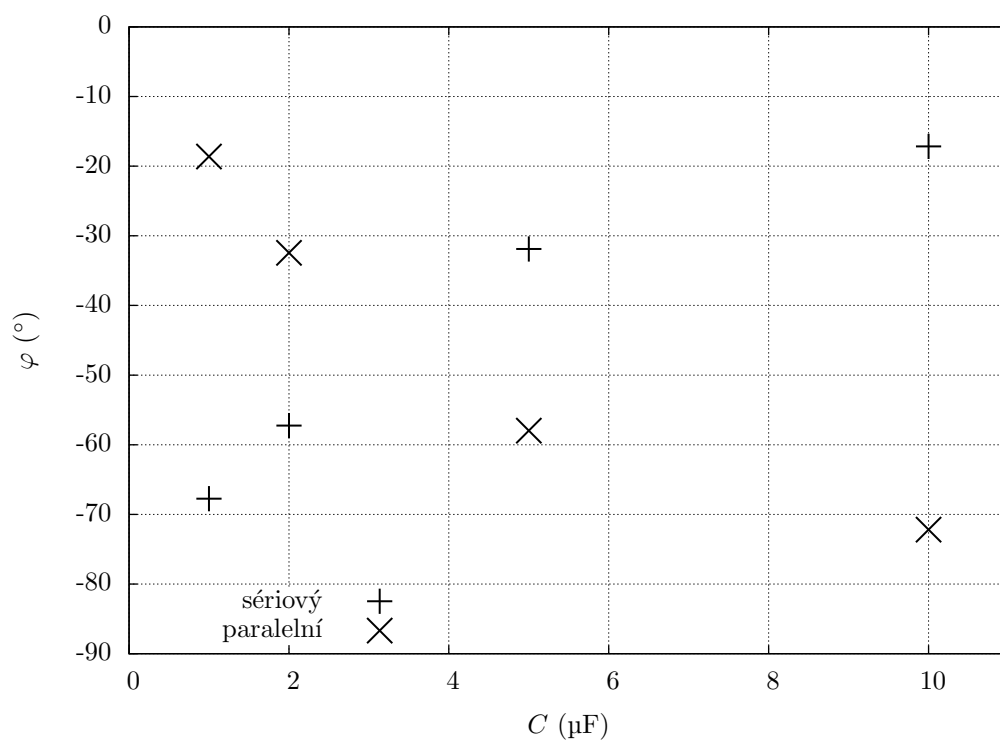
sériový RC obvod							
C (μF)	U (V)	I (mA)	P (W)	$\cos \varphi$	PF	φ (°)	R_s (Ω)
1	52,8	15	0,30	0,38	—	-67	1330(200)
2	52,8	28	0,80	0,54	0,53	-57	1020(80)
5	52,2	44	1,95	0,85	0,84	-32	1010(50)
10	51,7	50	2,47	0,95	0,95	-17	990(40)
paralelní RC obvod							
C (μF)	U (V)	I (mA)	P (W)	$\cos \varphi$	PF	φ (°)	R_p (Ω)
1	51,8	55	2,70	0,95	0,96	-19	994(6)
2	51,8	62	2,71	0,84	0,84	-32	990(6)
5	52,0	99	2,73	0,53	0,53	-58	990(6)
10	52,4	174	2,79	0,31	0,31	-72	984(6)

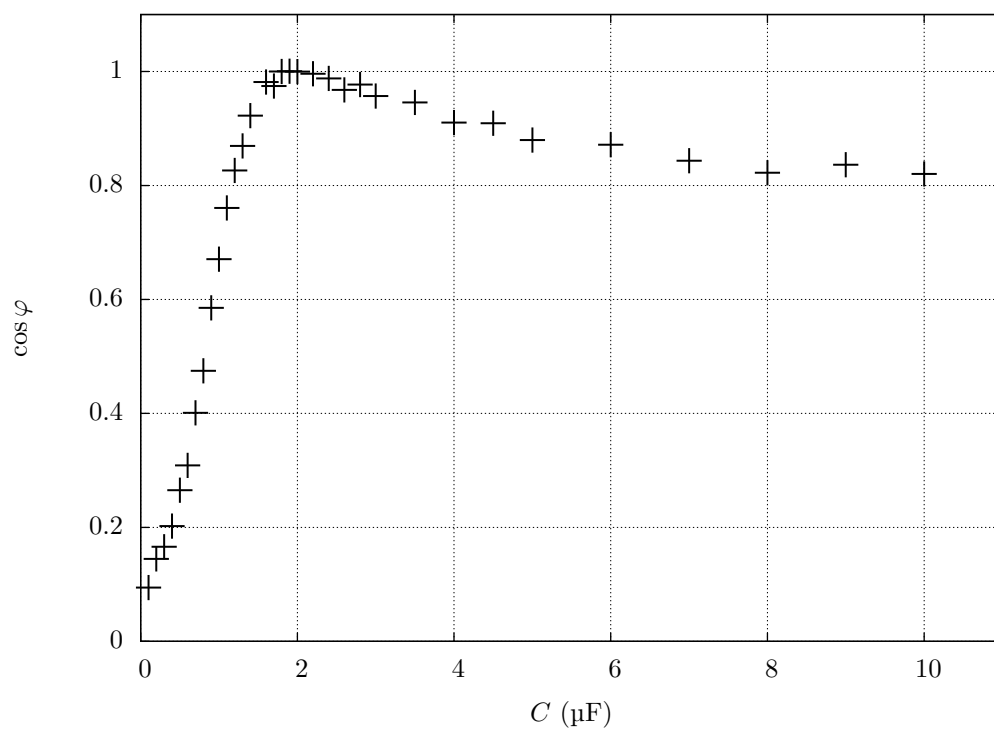
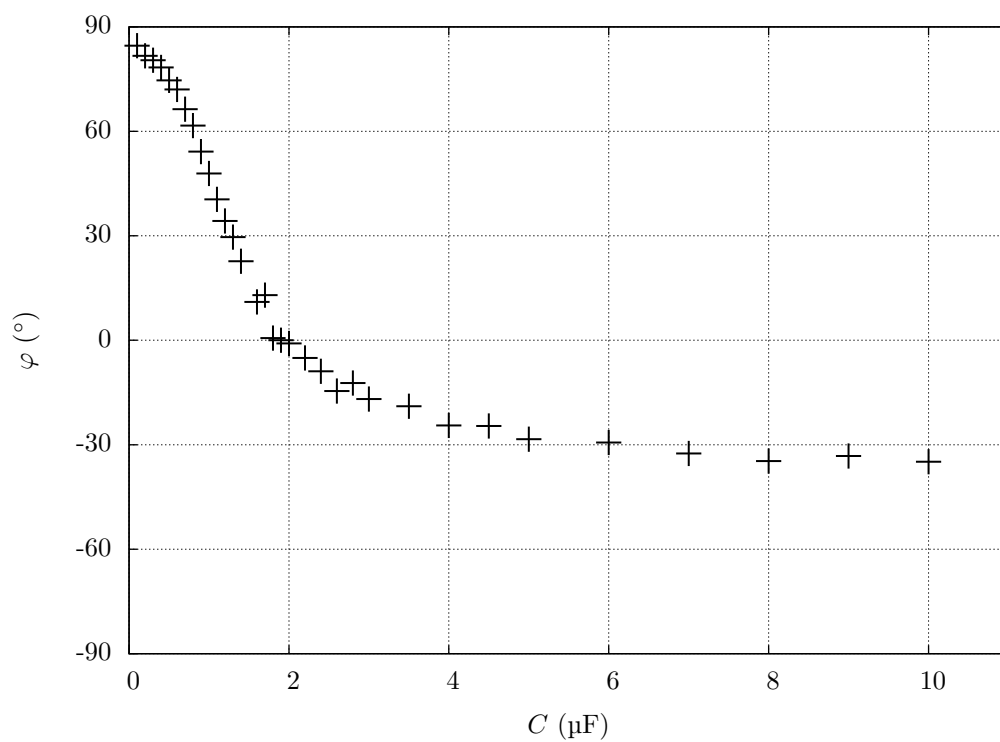
Tabulka 2: Účinník RC obvodu

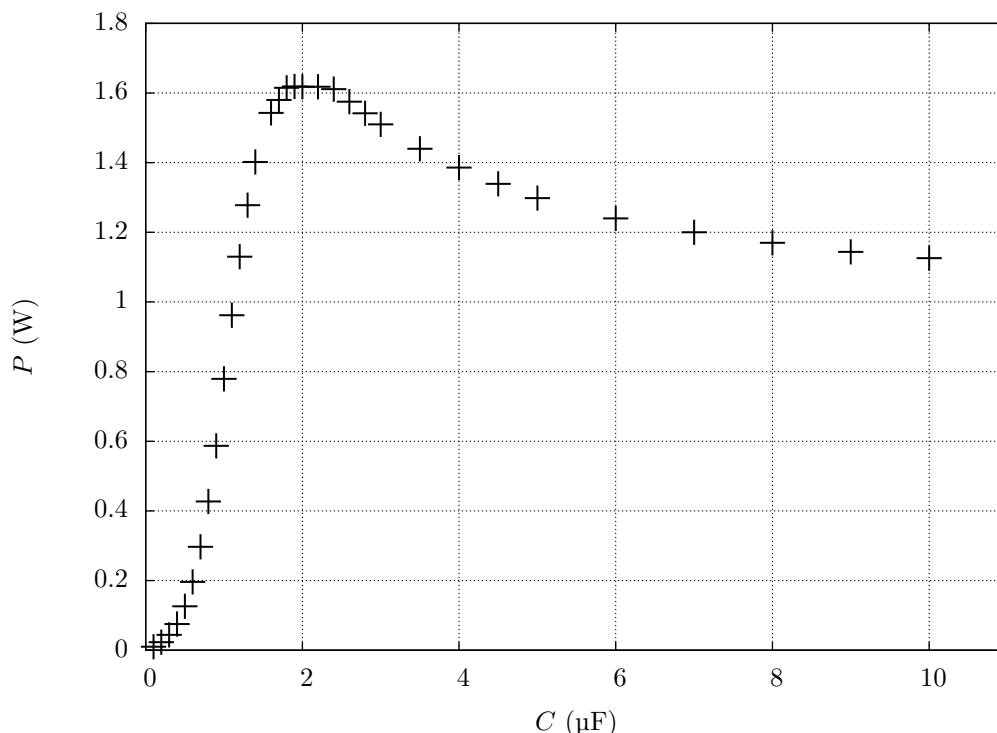
S přihlédnutím k jednotlivým hodnotám R v tabulce 2 a jejich odchylkám můžeme usoudit, že správná hodnota je $R = 990(5) \Omega$. Odpor jsme změřili i digitálním multimetrem MXD 4660A, jeho hodnota byla 982(2) k Ω .

Dále jsme změřili závislost proudu a výkonu na velikosti kapacity zařazené do sériového RLC obvodu. Výsledky jsou shrnuty v tabulce na přiloženém papíře a v grafech 3, 4 a 5. Při výpočtu φ jsme použili hodnoty ze sloupce $\cos \varphi$, ne PF.

Sériový RC obvod jsme připojili k osciloskopu. Při nulové kapacitě bylo napětí na kondenzátoru a na rezistoru ve fázi a mělo stejnou amplitudu. Když jsme poté kapacitu zvyšovali, napětí na kondenzátoru se snižuje a posouvá vůči napětí na rezistoru.

Graf 1: Účinník RC obvodu v závislosti na C Graf 2: Fázové posunutí proudu vůči napětí v RC obvodu v závislosti na C

Graf 3: Účinník RLC obvodu v závislosti na C Graf 4: Fázový posun proudu vůči napětí v RLC obvodu v závislosti na C

Graf 5: Výkon RLC obvodu v závislosti na C

Diskuze

Měření digitálním osciloskopem bylo v tomto případě přesnější než analogovým, protože na analogovém jsme měřili ve spodní části rozsahu. U digitálního wattmetru bylo velkou chybou zatíženo měření proudu ze stejného důvodu. Nicméně výsledky získané oběma přístroji se poměrně přesně shodují.

U rezistoru nám podle očekávání vyšel účinník 1. U kondenzátoru vyšel téměř přesně 0, takže ho můžeme považovat za ideální a jeho vlastní vodivost zanedbat. U cívky vyšel účinník 0,41, takže má nezanedbatelný odpor.

Měření odporu pomocí účinníku RC obvodu bylo přesnější v paralelním zapojení, a to zejména kvůli již zmiňované nepřesnosti měření proudu. Vypočtené odpory se v rámci chyby přibližně shodují pro všechna měření a shodují se i s hodnotou naměřenou multimetrem. Měření multimetrem považujeme v tomto případě za přesnější.

Závěr

Změřili jsme účinník a fázový posuv rezistoru, kondenzátoru a cívky, viz tabulka 1.

Zjistili jsme, že rezistor a kondenzátor lze pro naše účely považovat za ideální. Cívka má účinník různý od jedné, takže ji nelze považovat za ideální. Vypočítali jsme indukčnost a odpor v sériovém a paralelním náhradním zapojení. V sériovém zapojení

$$R_S = 720(50) \, \Omega \quad L_S = 5,1(2) \, \text{H}$$

a v paralelním

$$R_P = 4270(50) \, \Omega \quad L_P = 6,1(2) \, \text{H}.$$

Změřili jsme účinník sériového a paralelního RC obvodu, viz tabulka 2 a grafy 1 a 2. Pomocí něj jsme určili odpor $R = 990(5) \, \Omega$. Odpor jsme změřili i digitálním multimetrem na $982(2) \, \Omega$.

Změřili jsme závislost proudu a výkonu na velikosti kapacity zařazené do sériového RLC obvodu, viz příložená tabulka a grafy 3, 4 a 5.

Seznam použité literatury

1. *Základní fyzikální praktikum* [online]. [cit. 2016-12-09]. Dostupný z WWW: <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/start>.

RLC

C (μF)	U (V)	I (mA)	P (W)	cos(φ)	PF	φ (°)
0.1	53.0	2	0.010	0.09	---	85
0.2	53.0	3	0.023	0.14	---	82
0.3	53.0	5	0.044	0.17	---	80
0.4	53.0	7	0.075	0.20	---	78
0.5	52.8	9	0.126	0.27	---	75
0.6	52.9	12	0.196	0.31	---	72
0.7	52.9	14	0.297	0.40	---	66
0.8	52.9	17	0.427	0.47	0.48	62
0.9	52.8	19	0.587	0.59	0.57	54
1.0	52.8	22	0.779	0.67	0.67	48
1.1	52.7	24	0.962	0.76	0.75	40
1.2	52.6	26	1.130	0.83	0.82	34
1.3	52.5	28	1.278	0.87	0.88	30
1.4	52.4	29	1.402	0.92	0.92	23
1.6	52.4	30	1.543	0.98	0.97	11
1.7	52.3	31	1.580	0.97	0.99	13
1.8	52.1	31	1.615	1.00	1.00	1
1.9	52.2	31	1.619	1.00	1.00	0
2.0	52.2	31	1.618	1.00	1.00	-1
2.2	52.4	31	1.618	1.00	1.00	-5
2.4	52.6	31	1.611	0.99	0.99	-9
2.6	52.5	31	1.575	0.97	0.98	-15
2.8	52.6	30	1.542	0.98	0.97	-12
3.0	52.6	30	1.510	0.96	0.96	-17
3.5	52.5	29	1.440	0.95	0.93	-19
4.0	52.5	29	1.386	0.91	0.92	-24
4.5	52.6	28	1.339	0.91	0.90	-25
5.0	52.7	28	1.298	0.88	0.88	-28
6.0	52.7	27	1.240	0.87	0.86	-29
7.0	52.7	27	1.200	0.84	0.85	-33
8.0	52.7	27	1.170	0.82	0.84	-35
9.0	52.6	26	1.144	0.84	0.83	-33
10.0	52.8	26	1.126	0.82	0.82	-35