

Krystalový manometr

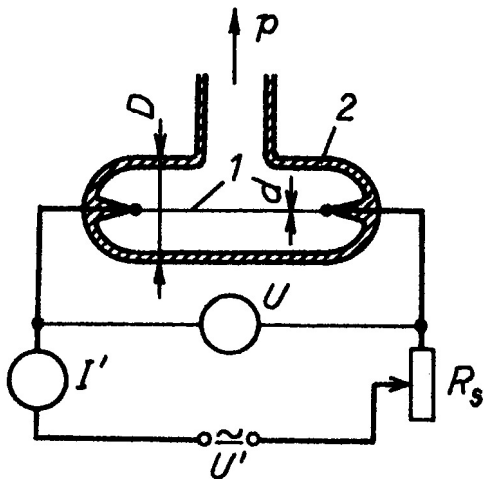
- princip: změna frekvence kmitů krystalu
- rozsah: $0,1 \text{ Pa} - 10^5 \text{ Pa}$
- přesnost: $\sim 15\%$
- na podobném principu velmi přesné barometry $\sim 0,01\%$

Tepelné manometry

Princip je založen na závislosti tepelné vodivosti plynu na tlaku.
Podstatnou částí manometru je nějaký citlivý element, který je elektrickým příkonem P vyhříván na teplotu T , vyšší než je teplota okolí T_0 .
Nejčastěji měříme teplotu T :

- z velikosti odporu - odporové manometry
- pomocí termočládku - termočládkové manometry
- z deformace bimetalu - dilatační manometry

Odporové manometry - Pirani



1

¹J. Groszkowski: Technika vysokého vakua, SNTL, Praha 1981

Odpor vlákna $R = f(T)$

$$P_e = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} ; \quad R = R_0(1 + \beta(T - T_0))$$

$$P_e = P_c + P_z + P_p$$

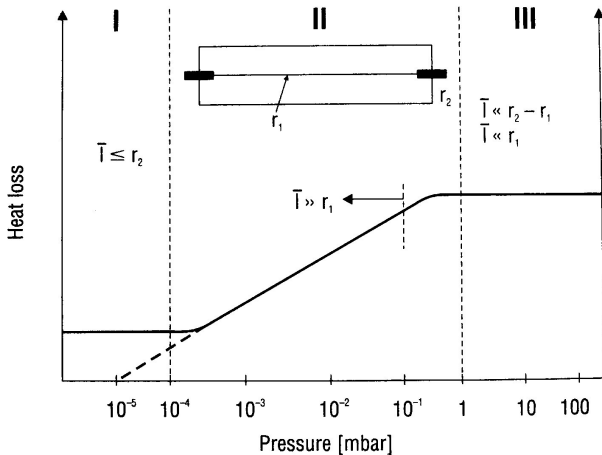
- P_c - výkon odváděný molekulami plynu
- P_z - výkon odváděný zářením vlákna
- P_p - výkon odváděný přírůdky vlákna

$$P_z = S_0 \sigma \varepsilon (T^4 - T_0^4)$$

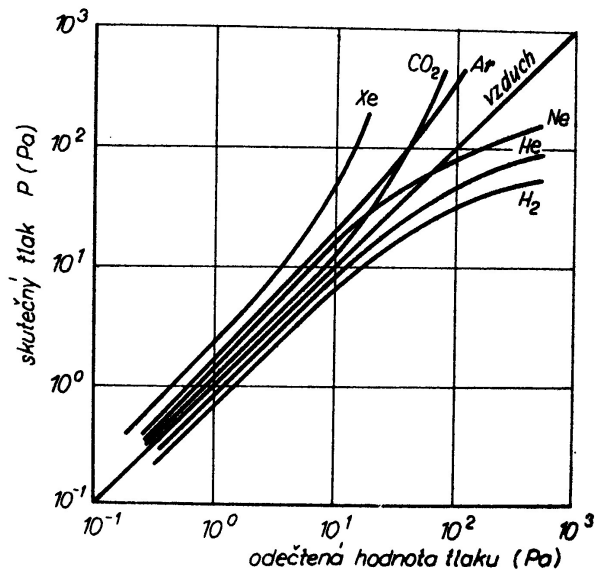
$$P_c = [\alpha \lambda_T(p)] S_0 (T - T_0)$$

α - akomodační koeficient

$\lambda_T(p)$ - tepelná vodivost



- I Thermal dissipation due to radiation and conduction in the metallic ends
- II Thermal dissipation due to the gas, pressure-dependent
- III Thermal dissipation due to radiation and convection



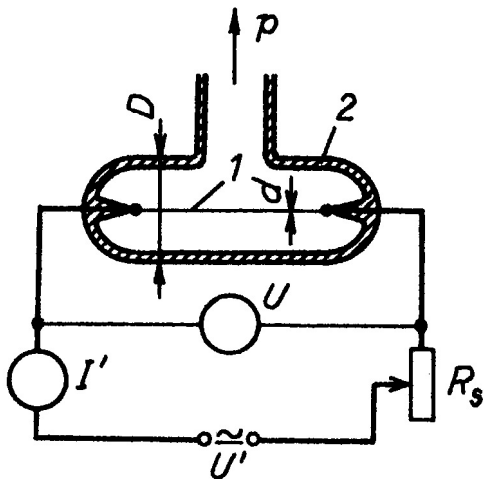
Tab. 5.3. Měrný odpor ρ a teplotní součinitel odporu β (orientační údaje)

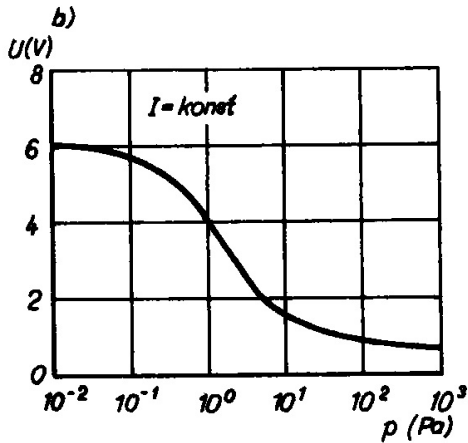
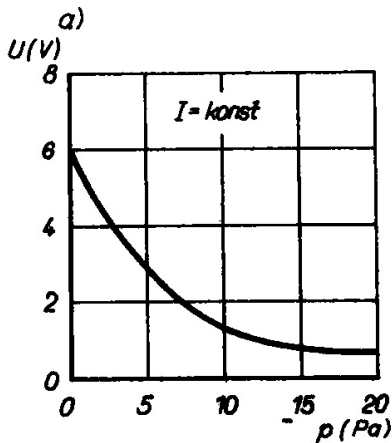
| Kov | ρ ($t = 0^\circ\text{C}$) ($\Omega \text{ cm}$) | β ($t = 0$ až 100°C) (K^{-1}) |
|-------------------------------|---|---|
| konstantan (60 % Cu, 40 % Ni) | $50 \cdot 10^{-6}$ | ~ 0 |
| měď (obyčejná, vyžíhaná) | $1,6 \cdot 10^{-6}$ | $4,5 \cdot 10^{-3}$ |
| molybden (vyžíhaný) | $4,5 \cdot 10^{-6}$ | $3,3 \cdot 10^{-3}$ |
| nikl (obyčejný) | $6,5 \cdot 10^{-6}$ | $6 \cdot 10^{-3}$ |
| platina | $10 \cdot 10^{-6}$ | $3 \cdot 10^{-3}$ |
| slitina Pt–Rh (90 % Pt) | $21 \cdot 10^{-6}$ | $4 \cdot 10^{-3}$ |
| stříbro elektrolytické | $1,5 \cdot 10^{-6}$ | $4 \cdot 10^{-3}$ |
| tantal | $15 \cdot 10^{-6}$ | $4,5 \cdot 10^{-3}$ |
| wolfram (vyžíhaný) | $4,5 - 5,5 \cdot 10^{-6}$ | $4,5 \cdot 10^{-3}$ |
| železo (čisté) | $9 \cdot 10^{-6}$ | $5 \cdot 10^{-3}$ |

Metody měření

- Metoda konstantního proudu
- Metoda konstantní teploty (odporu)

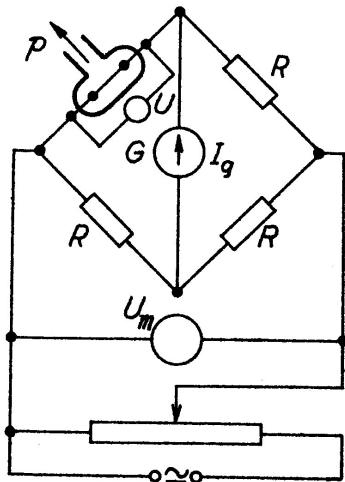
Metoda konstantního proudu

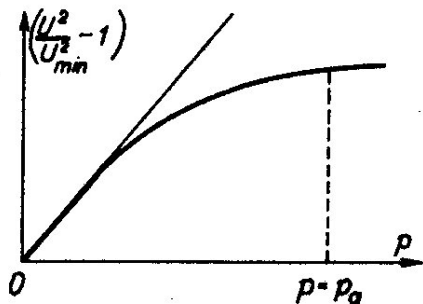




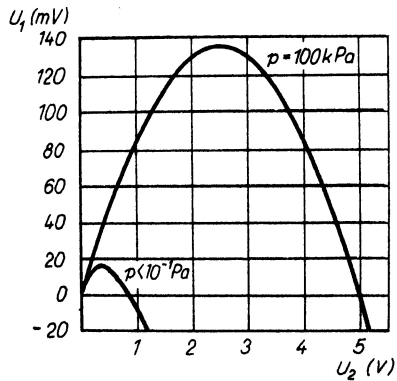
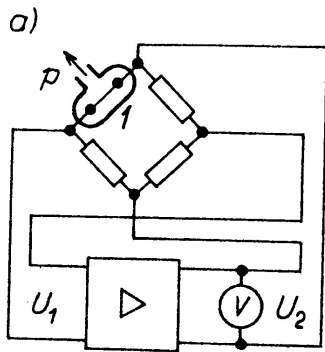
Obr. 5.19. Závislost $U = f(p)$ u manometru měřicího při $I = konst$
 a) lineární stupnice, b) semilogaritmická stupnice

Metoda konstantní teploty (odporu)



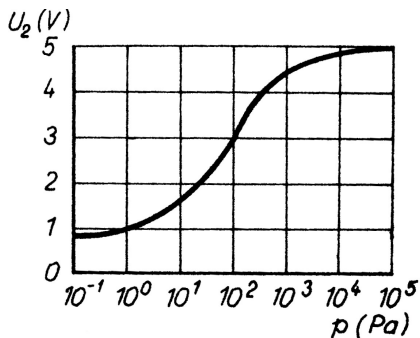


Obr. 5.18. Závislost $\frac{U^2}{U_{\min}^2} - 1 = f(p)$.
 Při nízkých tlacích je lineární



Tepelný vakuometr s konstantním odporem ⁹

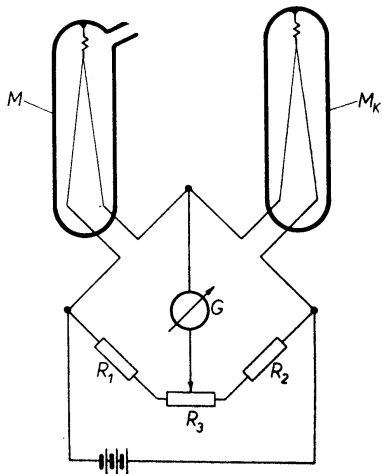
⁹J. Groszkowski: Technika vysokého vakua, SNTL, Praha 1981



Vlákno $d = 50 \mu\text{m}$, $L = 50 \text{ mm}$, teplota $T = 470 \text{ K}$,
 měřící obor $10 - 5000 \text{ Pa}$ ¹⁰

¹⁰J. Groszkowski: Technika vysokého vakua, SNTL, Praha 1981

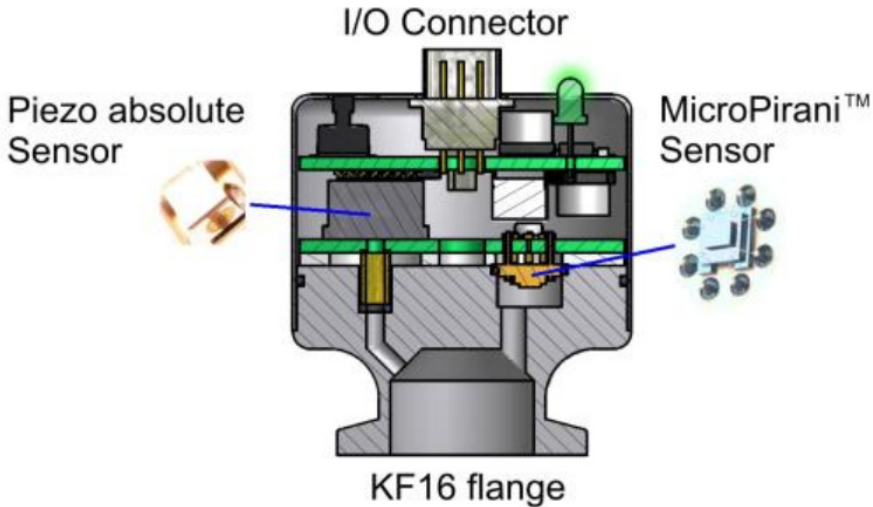
Kompenzace teploty



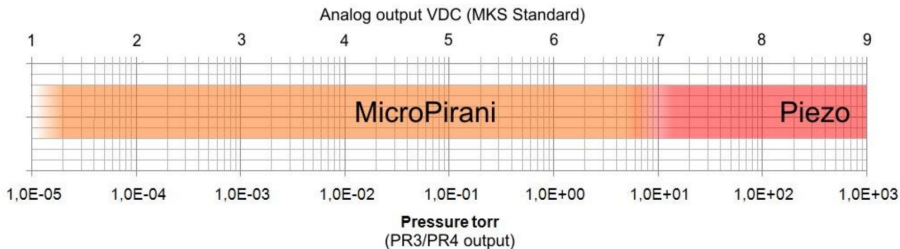
Pirani manometr

- velmi jednoduchá konstrukce
- měřící rozsah $10^{-2} - 10^5$ Pa
- chyba měření asi $\sim 15\%$
- závisí na druhu plynu a na okolní teplotě

MicroPirani - MKS 910



MKS 910



13

MKS 910

Specifications

Measuring range (N₂ and Air): 1×10^{-5} to 1500 Torr

MicroPirani

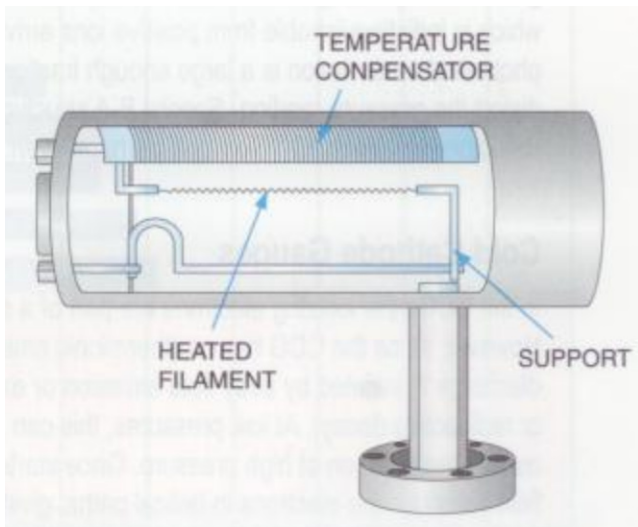
| | | |
|---|--|------------------|
| Accuracy ⁽¹⁾ (N ₂) | 5×10^{-4} to 1×10^{-3} Torr: | ±10% of reading |
| | 1×10^{-3} to 100 Torr: | ± 5% of reading |
| | 100 Torr to Atm.: | ± 25% of reading |
| Repeatability ⁽¹⁾ (N ₂): | 1×10^{-3} to 100 Torr: | ± 2% of reading |

Piezo absolute

| | | |
|---|--------------------|--------------------|
| Accuracy Piezo ⁽¹⁾ | 0.1 to 10 Torr: | ±1% of reading |
| | 10 to 1000 Torr: | ± 0.75% of reading |
| | 1000 to 1500 Torr: | ± 2% of reading |
| Repeatability ⁽¹⁾ (N ₂): | 10 to 800 Torr | ± 0.2% of reading |

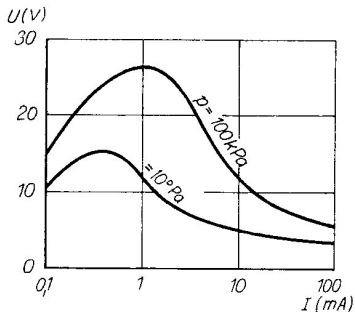
| | |
|-----------------------------|------------|
| Supply Voltage: | 9 – 30 VDC |
| Power consumption: | < 1.2 Watt |
| Fuse (thermal recoverable): | 200 mA |

Convectron

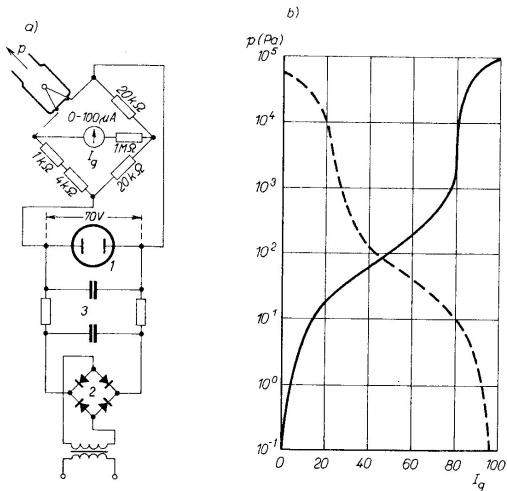


- využívá i tepelnou konvekci plynu
- předepsaná orientace
- měřicí rozsah $10^{-2} - 10^5$ Pa
- chyba měření asi $\sim 15\%$

Termistorový manometr



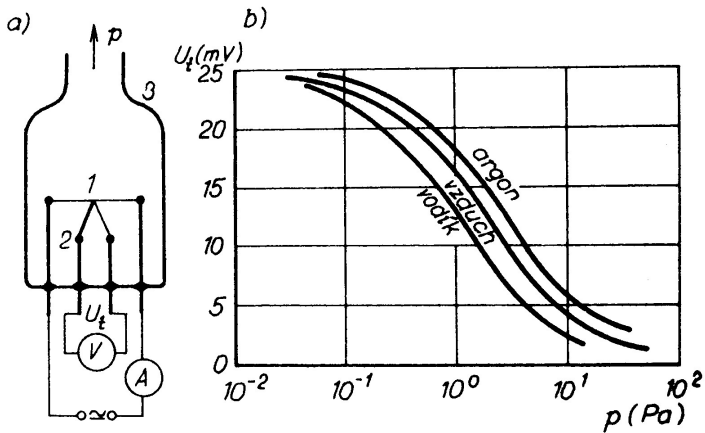
Obr. 5.22. Voltampérová charakteristika termistorového měřicího elementu



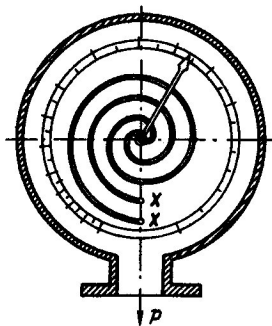
Obr. 5.23. Termistorový vakuometr (podle Pytkowského, 1955)

- a) elektrické schéma: 1 – výbojový stabilizátor napětí; 2 – usměrňovač proudu; 3 – filtr;
 b) kalibrační křivky pro vzduch při můstku v rovnováze: můstek vyrovnán při tlaku $p \ll 10^{-1}$ Pa (plně); můstek vyrovnán při atmosférickém tlaku (čárkovaně)

Termočlánkový-manometr



Dilatační manometr

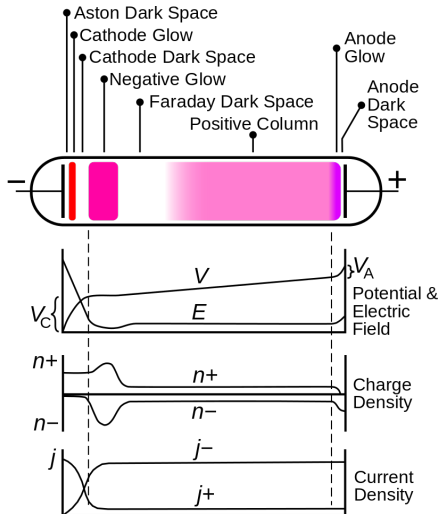


Obr. 5.26. Dvojkovový dilatační vakuometr (dle Klumba a Haase, 1936). Dvě dvojkovové (bimetalové) spirály jsou upevněny na svých koncích xx a jejich druhé konce jsou spojeny s ručičkou. Spirálami prochází proud, který je zahřívá. Ručička se otáčí v závislosti na tlaku

5W; 0,1-100 Pa

19

Indikace tlaku podle výboje



Pouze přibližná metoda.

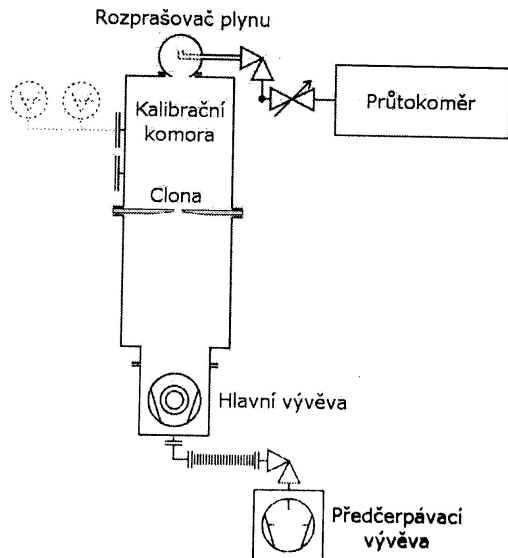
| P[Pa] | Tvar výboje |
|------------------------|--|
| $5 \times 10^3 - 10^3$ | hadovitý výboj |
| $10^3 - 5 \times 10^2$ | elektrody se pokryjí doutnavým světlem |
| 10^2 | kladný sloupec vyplní 2/3 trubice |
| 5×10^1 | vrstvy v kladném sloupci |
| 10 | vrstvy mizí, záporné světlo 1/2 trubice |
| 5 | záporné světlo v celé trubici, fluorescence skla |
| 1 | fluorescence mizí |

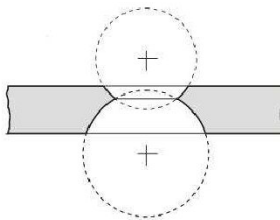
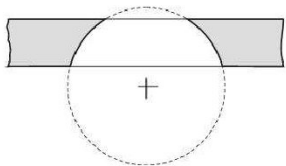
Manometr na principu dynamické expanze

Do kalibrační komory vpouštíme známý proud plynu a komoru čerpáme známou čerpací rychlostí. Pak platí

$$p = \frac{I}{S}$$

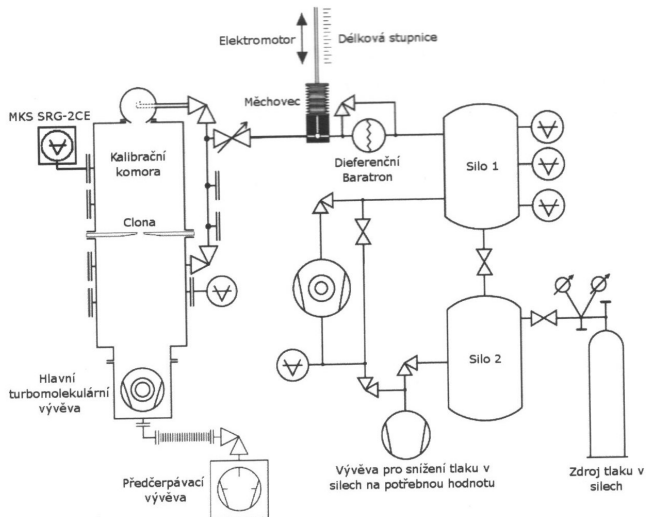
Mezi vývěvu a kalibrační komoru se zařazuje kruhová clona se známou vodivostí. Vodivost clony je řádově menší než čerpací rychlost (eliminace fluktuací čerpací rychlosti). Nutno zajistit izotermičnost měření. Je nutné udržet konstantní proud plynu I , konstantní čerpací rychlost vývěvy, molekulární režim proudění plynu clonou.





Speciální clony NPL (vyrábí National Physical Laboratory)

22





24

Etalon na principu dynamické expanze

rozsah $10^{-1} - 10^{-6}$ Pa

chyba měření 0,6% – 2%

$$I = p \frac{V_1 - V_2}{t_1 - t_2}$$

$$p_{\text{ref}} = I \left(\frac{1}{S} + \frac{1}{G} \right)$$