Лекция №14

Курс Т и ТРЛ и РН

- •В программе курса рассматриваются автономные радионавигационные системы летательных аппаратов.
- •Будут рассмотрены вопросы построения и функционирования радиовысотомеров, доплеровских измерителей скорости и угла сноса летательных аппаратов, а также систем счисления пути и обзорно-сравнительных навигационных систем.

РАДИОВЫСОТОМЕРЫ

1. Отражение радиосигналов от земной и морской поверхности. Расчет мощности отраженного сигнала

1.1. Критерий шероховатости поверхности

Гладкая

Шероховатая

$$\sigma_h \cos \theta < \frac{\lambda}{8}$$

$$\sigma_h \cos \theta > \frac{\lambda}{8}$$

$$\theta \approx 0^{\circ}, \ \sigma_h \ \mathbb{I} \ cM$$

PB – системы, работающие в дециметровом и более длинноволновом диапазоне волн.

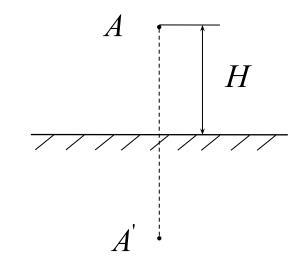
PB – системы, работающие в сантиметровом диапазоне длин волн.

Бетонированная взлетнопосадочная полоса аэродрома, спокойная поверхность водоема, ровные участки пустыни и т.д. Морская поверхность при волнении, овраги, холмы, лесистую местность и т.д.

1.2. Отражение волн от гладкой поверхности

$$P_0igg[4\piig(2Hig)^2igg]^{-1} \ rac{P_0G_{arP\!ig/\!\!\!\!I}K_f^2}{4\piig(2Hig)^2}g_{arP\!ig/\!\!\!\!I}ig(0,0ig)$$

Вид	Диапазон	
поверхнос	волн	K_f
ти		
Сухая	1 CM - 10 M	0,4
почва		
Влажная	1 CM - 10 M	0,6
почва		
Морская	1 CM	0,75
вода		
Морская	10 CM	0,8
вода		
Морская	1 M	0,9
вода		



$$S_{\Pi PM} = \frac{G_{\Pi PM} \lambda^2 g_{\Pi PM} (0,0)}{4\pi}$$

$$P_{3EP} = \frac{P_0 G^2 \lambda^2 K_f^2 g^2(0,0)}{(8\pi H)^2}$$

1.2. Отражение волн от гладкой поверхности

$$R_{1} = \sqrt{\left(H + \frac{\lambda}{4}\right)^{2} - H^{2}} \approx \sqrt{H\lambda/2} \qquad R_{2} = \sqrt{H\lambda}$$

$$R_{4} = \sqrt{2H\lambda} \qquad R_{3} = \sqrt{3H\lambda/2}$$

$$S_{k} = \pi \left(R_{k+1}^{2} - R_{k}^{2}\right)$$

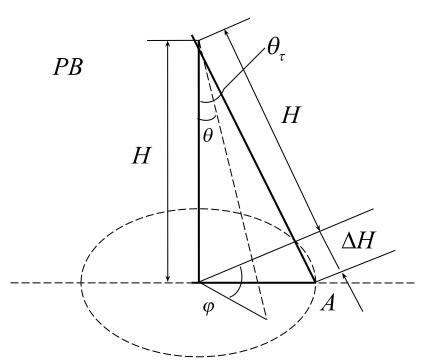
$$S_{k} = \pi H\lambda/2$$

$$R_{3} = \sqrt{3H\lambda/2}$$

$$R_{4} = \sqrt{2H\lambda} \qquad R_{5} = \sqrt{H\lambda/2}$$

$$R_{5} = \pi H\lambda/2$$

1.3. Отражение волн от шероховатой поверхности



$$\Delta H = \frac{c\tau_a}{2} \qquad \tau_a = \frac{1}{\Delta f}$$

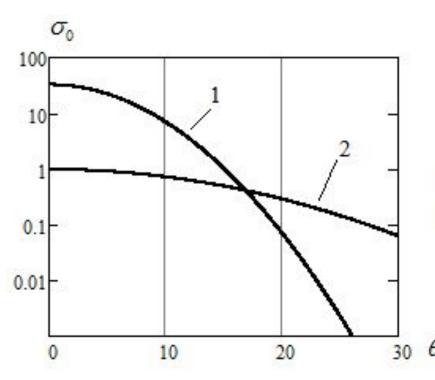
$$R \approx \sqrt{cH\tau_a} \qquad S_\tau = \pi R^2 \approx \pi H c\tau_a$$

$$P_{pac} = \frac{P_0 G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 H^4} = \frac{P_0 G^2 \lambda^2 \sigma_0 S_{\tau}}{(4\pi)^3 H^4}$$

$$\Delta \theta_{0} > 2\theta_{\tau}: \quad P_{pac} = \frac{P_{0}G^{2}\lambda^{2}\sigma_{0}\pi Hc\tau_{a}}{\left(4\pi\right)^{3}H^{4}} = \frac{P_{0}G^{2}\lambda^{2}\sigma_{0}c}{64\pi^{2}H^{3}\Delta f}$$

$$\Delta\theta_{0} < 2\theta_{\tau}: \quad R \approx Htg\left(\frac{\Delta\theta_{0}}{2}\right) \qquad P_{pac} = \frac{P_{0}G^{2}\lambda^{2}\sigma_{0}tg^{2}\left(\frac{\Delta\theta_{0}}{2}\right)}{64\pi^{2}H^{2}}$$

1.3. Отражение волн от шероховатой поверхности



$$\sigma_0(\theta) = \frac{K_f^2}{a_u^2} \exp(-\frac{\theta^2}{a_u^2})$$

1.
$$K_f^2 = 0.8$$
; $a_{uu}^2 = 0.02$.

2.
$$K_f^2 = 0.31$$
; $a_{uu}^2 = 0.1$.

1.
$$K_f^2 = 0.8$$
; $a_{uu}^2 = 0.02$.
2. $K_f^2 = 0.31$; $a_{uu}^2 = 0.1$. $a_{uu}^2 = 4\sigma_h^2/l_h^2$

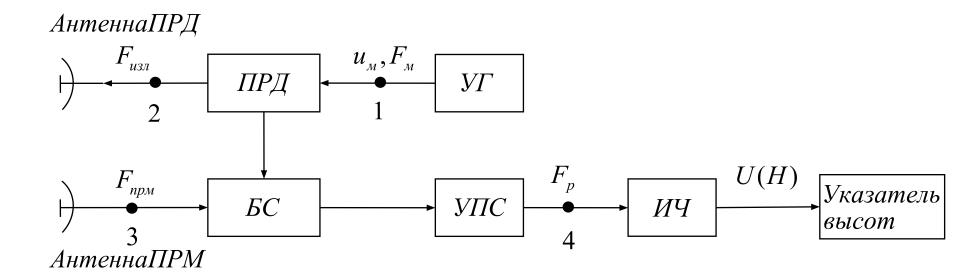
$$\Delta \theta_{op} = \sqrt{\pi} a_{uu} \approx 3.4 \frac{\sigma_h}{l_h}$$

$$P_{pac} \boxtimes P_0 \lambda^2 G_{\Pi P \mathcal{A}} G_{\Pi P \mathcal{A}} \lambda^2 K_f^2 \bigg/ \left(8\pi H\right)^2 \frac{\Delta \theta_0^2}{\Delta \theta_0^2 + \Delta \theta_{op}^2} \exp \left(-\frac{\pi \theta_s^2}{\Delta \theta_0^2 + \Delta \theta_{op}^2}\right)$$

$$P_{3ep} = \frac{P_0 G^2 \lambda^2 K_f^2 g^2(0,0)}{(8\pi)^2 H^2} \exp \left[-\left(4\pi \frac{\sigma_h}{\lambda}\right)^2 \right] \qquad P_{\Sigma} = P_{3ep} + P_{pac}$$

2. Принцип действия и основные соотношения для радиовысотомеров с частотной модуляцией

2.1. Принцип действия



УГ – управляемый генератор

ПРД – передатчик

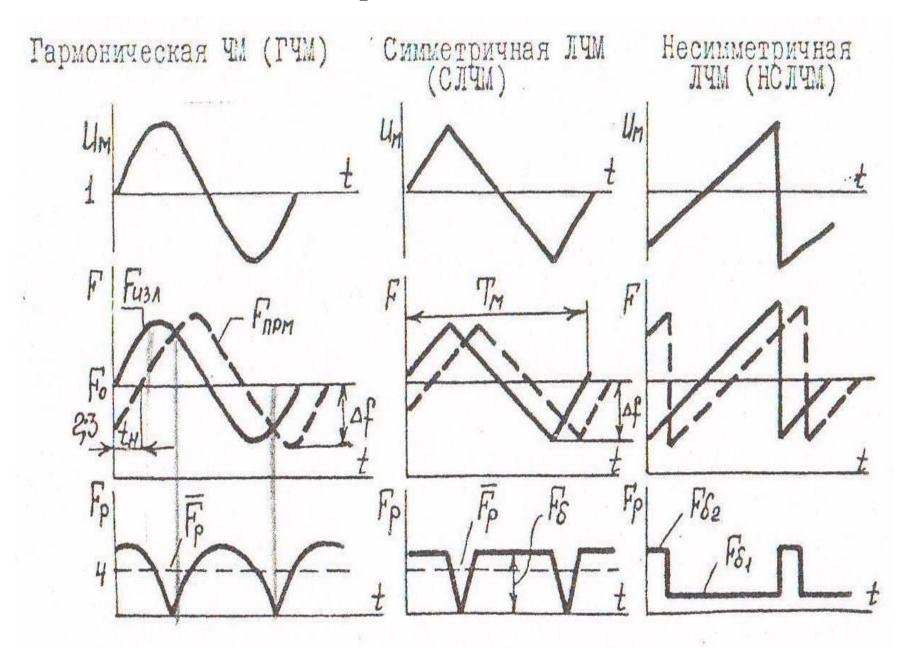
БС – балансный смеситель

УПС – усилитель преобразованного

сигнала

ИЧ – измеритель частоты

2.1. Принцип действия



Гармоническая ЧМ

$$u_{\Delta}(t) = U_{c} \sin \left[\omega_{0} t + \left(\frac{\Delta \omega}{\omega_{M}} \right) \sin \omega \right]$$

$$u_{npm}(t) = U_{npm} \sin \left[\omega_0(t - t_H) + \left(\frac{\Delta \omega}{\omega_M} \right) \sin \omega_M(t - t_H) + \varphi_0 \right]$$

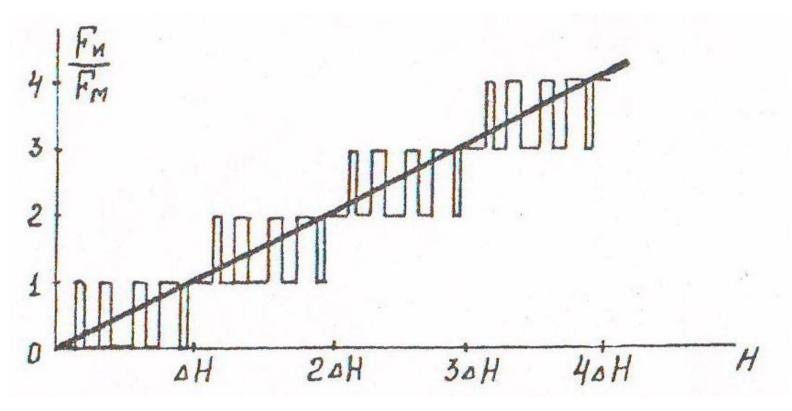
$$F_{\mu 3 \pi} = \left| F_{n p \pi} - F \right| = \left| 2 \Delta f \sin(\pi F t) \sin \left[2 \pi F \left(t - \frac{t_{\mu}}{2} \right) \right] \right|$$

$$\overline{F_{pM}} = 2/T_M \int_0^{T_M/2} F_p(t) dt = \frac{(4\Delta f)}{\pi} \sin(\pi F t) = \frac{8\Delta f F_M H}{c}$$

$$(u_{\delta c})_{H^{q}} = U_{\delta c} \cos(\varphi_{T} + d \cos \omega_{M} t); \qquad F_{M} = N_{T} F_{M};$$

$$\cos(\varphi_{M} + d \cos \omega_{C} t) = 0; \qquad N_{T} = 4d/2\pi = \frac{2\Delta \omega t_{H}}{\pi} = \frac{8\Delta f H}{c}$$

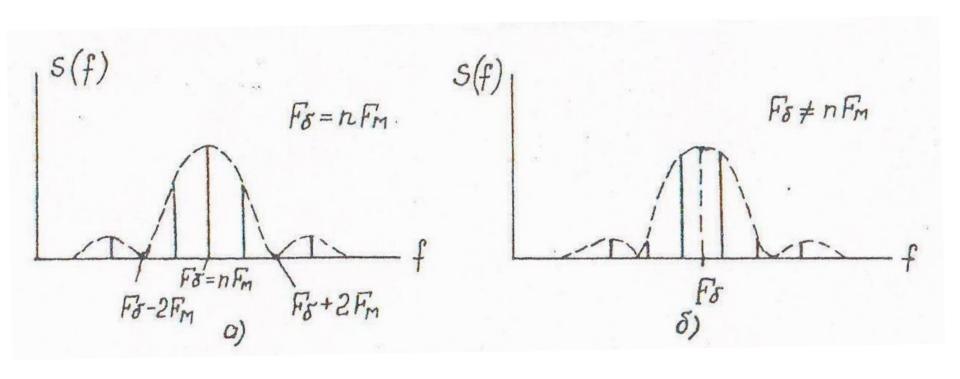
$$F_{M} = \frac{8\Delta f F_{M} H}{c}; \qquad \Delta H = \frac{c}{8\Delta f}$$



Линейная ЧМ

$$\overline{F_{pM}} = 2/T_p \int_{0}^{T_{M}/2} F(t) dt = F_{H} (1_{\overline{M}} 2t / T)$$

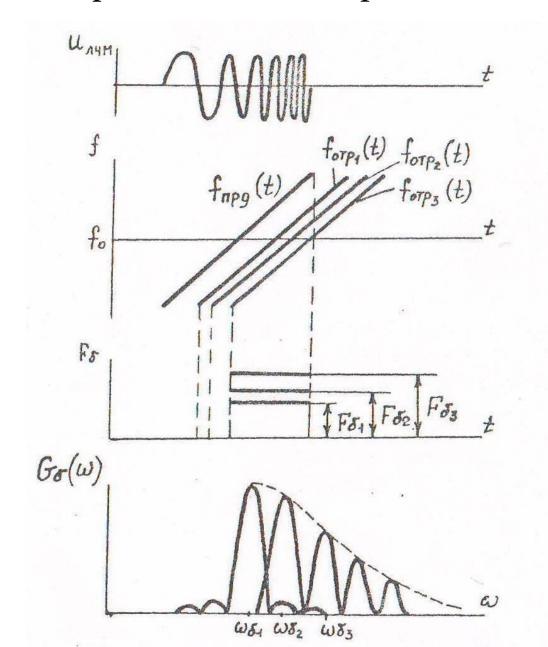
$$F_{o} = 4\Delta f F_{M} t_{H} = 8\Delta f F_{M} H/c$$



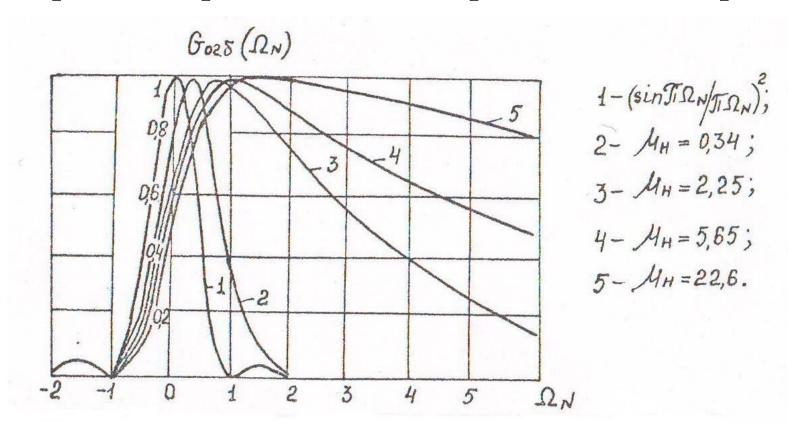
$$H_{\min} = cF_{\delta \min}/(8\Delta f F_M) = c/(8\Delta f)$$
 $H_{\max} = cF_{\delta \max}/(8\Delta f F_M) \leq c/(8F_M)$
Для НЛЧМ: $F_{\delta 1} = 4\Delta f F_M H/c$

	Информативный	
Закон частотной	параметр	Масштабный
модуляции	преобразованного	коэффициент
	сигнала	
Гармонический	$\overline{F_p} = 8c^{-1}F_M \Delta fH$	$M = 0.125cT_{M}\Delta f^{-1}$
Линейный симметричный	$\overline{F_p} = 8c^{-1}F_M \Delta fH$	$M = 0.125cT_{M}\Delta f^{-1}$
Линейный несимметричный	$F_{61} = 4c^{-1}F_{M}\Delta fH$	$M = 0,25cT_{\scriptscriptstyle M}\Delta f^{-1}$

2.3. Деформация спектра сигнала биений в РВ с ЧМ при некогерентном рассеянии от шероховатой поверхности



2.3. Деформация спектра сигнала биений в РВ с ЧМ при некогерентном рассеянии от шероховатой поверхности



$$\mu_{_{\! H}} = X_{_{\! H}} \Delta \theta_{_{\! 9}}^2 / 2$$
 - параметр, характеризующий значение нормированной разности расстояний между высотой и наклонной дальностью

 $\Delta heta_{2}$ - эквивалентная ширина ДНА, учитывающая влияние ДОР

3. Анализ ошибок измерения высоты в радиовысотомерах с ЧМ

3.1. Характеристика основных источников ошибок

Смещение оценки – 1) формирование сигнала от большого участка поверхности; 2) отклонение ЛА по крену и тангажу. Распределение имеет произвольную форму.

Флуктуационные ошибки – определяются параметрами зондирующего сигнала, соотношением сигнал/шум, параметрами аппаратуры. Нестационарный закон распределения с переменными дисперсией и средним значением.

Динамические ошибки - инерционность измерителя по отношению к изменениям измеряемого параметра и в смещении частоты биений на частоту Доплера.

$$F_{\delta 0} = \left(8\Delta f F_{M}/c\right) H = H/M,$$

$$F_{\delta hakn} = R_{hakn}/M = H/(M\cos\Delta\theta_{0}/2),$$

$$\Delta F_{\delta} = F_{\delta hakn} - F_{\delta 0} = \left(H/M\right) \left[\sec\left(\Delta\theta_{0}/2\right) - 1\right].$$

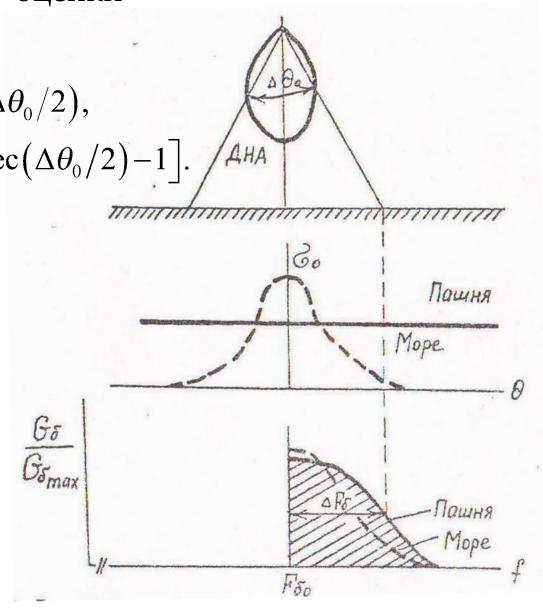
$$\xi = \Delta F_{\delta}/F_{\delta 0} = \sec\left(\Delta\theta_{0}/2\right) - 1$$

$$G_{\delta}(F) = 1 - \left(F - F_{\delta 0}\right)/\Delta F_{\delta}$$

$$F_{\delta cp} = F_{\delta 0} + \Delta F_{\delta}/3$$

$$\delta_{cp} = \Delta F_{\delta}/3F_{\delta 0} = \xi/3$$

$$\frac{G_{\delta}}{G_{\delta max}}$$



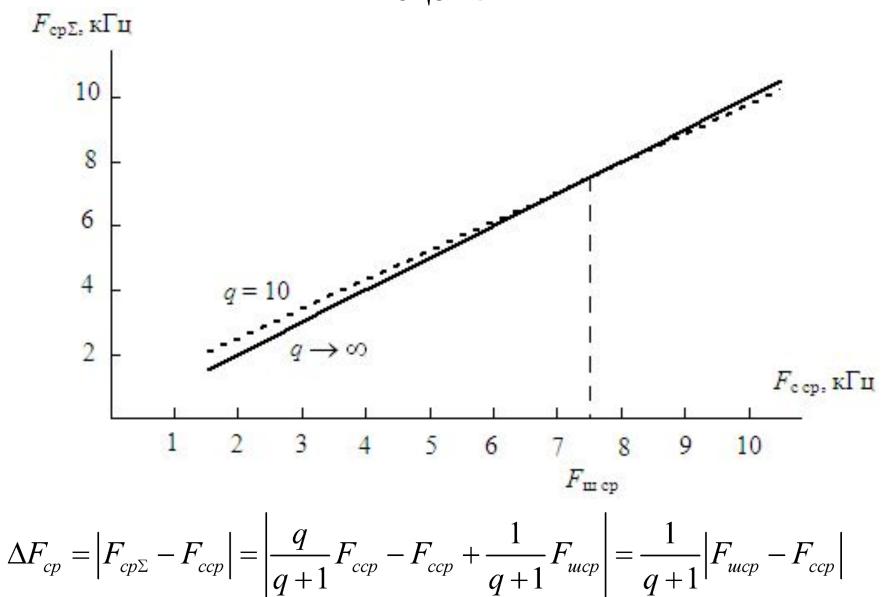
$$F_{cp\Sigma} = \frac{P_{cp}F_{c} + P_{ucp}F}{P_{uu} + P} = \frac{q}{q+1} \left(F_{ccp} + \frac{1}{q} F_{ucp} \right)$$

$$F_{ucp} = \frac{\int_{0}^{\infty} F \cdot G_{u}(F) dF}{\int_{0}^{\infty} G_{u}(F) dF} = \frac{\int_{F_{min}}^{F_{max}} F \cdot F^{2} dF}{\int_{F_{min}}^{F_{max}} F^{2} dF} = \frac{(1/4)(F_{max}^{4} - F_{min}^{4})}{(1/3)(F_{max}^{3} - F_{min}^{3})}$$

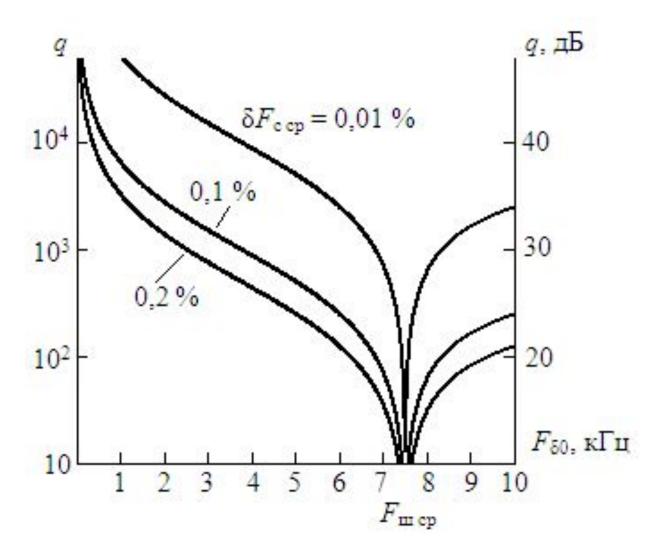
$$F_{\min} = 0,2$$
 кГц; $F_{\max} = 10$ кГц;

$$F_{ucp} \ \mathbb{I} \ (3/4) F_{max} = 7,5 \ {\rm к} \Gamma {\rm Ц};$$

$$F_{cp} = F_{60} + \Delta F_{6} / 3$$



$$\delta F_{cp} = \Delta F_{cp} / F_{ccp} \approx 1/q \left| F_{ucp} / F_{ccp} - 1 \right| \qquad q \, \mathbb{I} \left(1/\delta F_{cp} \right) \left| F_{ucp} / F_{6 \, 0} - 1 \right|$$



3.3. Флуктуационные ошибки

Собственные флуктуации отраженного сигнала: $\sigma_{E_a} = k_F \sqrt{\Delta F} / T$

$$\sigma_{E_c} = k_F \sqrt{\Delta F / T}$$

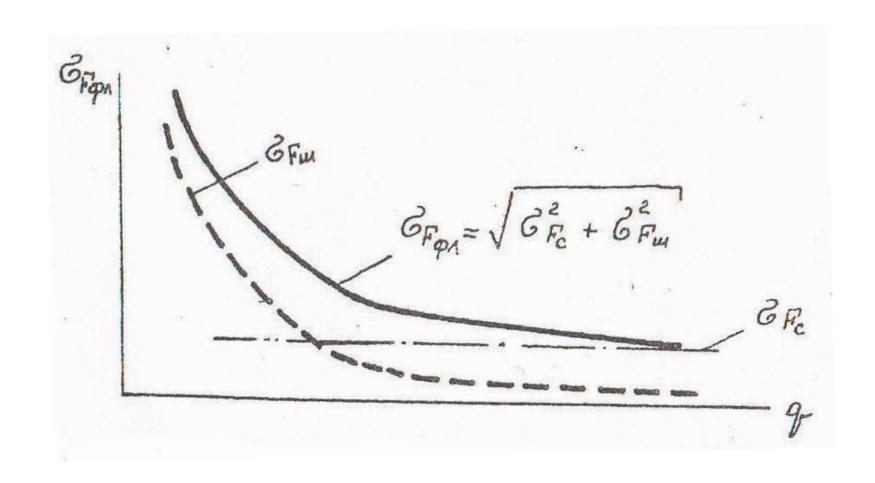
$$\frac{\sigma_{H}}{H} = \frac{\sigma_{F_{c}}}{F_{o}} = \frac{k_{F}}{F_{o}} \sqrt{\frac{H\left[\sec\left(\frac{\Delta\theta_{0}}{2}\right) - 1\right]}{MT}} = k_{F} \sqrt{\frac{c\left[\sec\left(\frac{\Delta\theta_{0}}{2}\right) - 1\right]}{MS\Delta fF \ HT}}$$

Погрешность, обусловленная шумами: $\sigma_{HPM} = k_F \sqrt{\Delta F} / T/q$

Суммарная погрешность:

$$rac{oldsymbol{\sigma}_{H_{\phi_n}}}{H} = rac{oldsymbol{\sigma}_{F_{\phi_n}}}{F_{\epsilon_0}} = rac{\sqrt{oldsymbol{\sigma}_{F_c}^2 + oldsymbol{\sigma}_{F_u}^2}}{F_{\epsilon_0}}$$

3.3. Флуктуационные ошибки



3.4. Динамическая ошибка

Ошибка, обусловленная эффектом Доплера:

$$\delta_{H_{\partial uH}} = \frac{\Delta H_{\partial uH}}{H} = \frac{F_{\partial}}{F_{\partial 0}} = \frac{2V_{e}}{\lambda F_{\partial 0}} = \frac{2V_{e}M}{\lambda H}$$

Пример: режим автоматической посадки самолета, снижающего до высоты порядка 30 м со скоростью 3 м/с при M=1/200 и $\lambda=7$ см

$$\delta_{H_{\partial uh}} = \frac{\Delta H_{\partial uh}}{H} = 0,014$$