

лучено значение пороговой скорости для возникновения токовой неустойчивости в областях поперечного тока

$$u_{кр} = \frac{\bar{\omega}}{k_{\perp}} \left(1 + \frac{v_{in} \sqrt{2\pi} k_{\perp} v_{Ti}}{\bar{\omega} \omega_{Hi}} \frac{k_z^2 v_{Te}^2}{\omega_{Hi}^2 v_{en}} (2\omega_{Hi} - \bar{\omega}) \frac{(1 + T_i T_e^{-1})^2}{T_i/T_e} \right) \quad (7)$$

и в областях продольного тока

$$u_{зкр} = \frac{\bar{\omega}}{k_z} \left(1 + \frac{v_{in} \sqrt{2\pi} k_{\perp} v_{Ti}}{\bar{\omega} \omega_{Hi}} \frac{k_z^2 v_{Te}^2}{\omega_{Hi}^2 v_{en}} (2\omega_{Hi} - \bar{\omega}) \frac{(1 + T_i/T_e)^2}{T_i/T_e} \right). \quad (8)$$

Из соотношений (7), (8) следует, что $u_{кр}$ имеет минимум при $T_i/T_e=1$. Графики зависимости $u_{кр}$ от T_i/T_e приведены на рис. 1, 2. Как видно из графиков, критические скорости невелики для областей поперечного тока $u_{кр}$ составляет доли v_{Ti} (при $T_e \simeq T_i$), для областей продольного тока $v_{Ti} < u_{кр} < v_{Te}$. Таким образом, оптимальным условием для возникновения неустойчивости в коротковолновой части спектра является равенство электронной и ионной температур $T_i = T_e$. Это равенство является наиболее реальным для рассматриваемых высот в ионосфере (область E и начало области F).

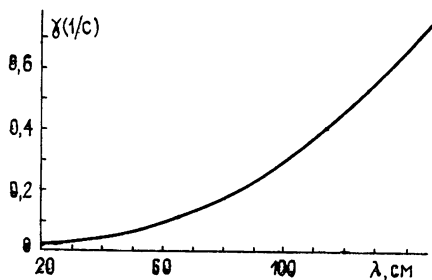


Рис. 3.

Зависимость инкремента γ в соответствии с (6) от длины волны λ приведена на рис. 3. Видно, что инкремент растет с ростом длины волны, очевидно, что $\gamma \rightarrow \gamma_{max}$ при $\lambda \rightarrow r_{Hi}$. Это утверждение находится в соответствии с результатами работы [4].

Таким образом, результаты расчетов показывают, что для возбуждения столкновительной токовой неустойчивости при условии $\lambda < r_{Hi}$ на гармониках гирочастоты ионов требуются достаточно низкие пороговые скорости. Для областей продольного тока $v_{Ti} < u_{кр} < v_{Te}$, что легко выполняется в ионосфере, для областей поперечного тока неравенство $u_{кр} \leq v_{Ti}$ выполняется в возмущенных условиях.

Авторы выражают благодарность Б. Н. Гершману за ценные замечания и помощь в работе

ЛИТЕРАТУРА

1. Maser F. S., Kelley M. C., Bering E. A. — Phys Fluids., 1975, 18, p. 1590.
2. Ledley B. G., Farthing W. H. — J. Geophys. Res., 1974, 79, № 22, p. 3124.
3. Ossakow S. L. 19-th URSI Symp — Helsinki, 1978, p. 265.
4. Kindel J. M., Kennel C. F. — J. Geophys. Res., Space Phys., 1971, 76, № 13, p. 3055.
5. Волков М. А., Волосевич А. В. — Сб. Неоднородности в ионосфере — Якутск, СО АН СССР, 1981, с. 23.
6. Chaturvedi P. K. — J. Geophys. Res., 1976, 81, p. 6169.
7. Крупина А. Е., Комракова И. Н. — В сб.: Распространение радиоволн в возмущенной ионосфере — Апатиты АН СССР, 1983, с. 8.
8. Mikhajlenko V. S., Stepanov K. N. — Plasma Phys., 1984, 23, № 12, p. 1165.
9. Александров А. Ф., Богданкевич Л. С., Рухадзе А. А. Основы электродинамики плазмы — М.: Высшая школа, 1978.
10. Фадеева В. Н., Терентьев Н. М. Таблицы значений интеграла вероятностей от комплексного аргумента — М.: Гостехиздат, 1954.

Горьковский государственный университет

Поступила в редакцию 8 июля 1983 г.

УДК 621.396.67

МЕТОД РЕГУЛИРУЕМОГО ПОДШУМЛИВАНИЯ ДЛЯ ИСКЛЮЧЕНИЯ ОШИБОК РАДИОТЕРМОМЕТРА, ВЫЗВАННЫХ РАССОГЛАСОВАНИЕМ АНТЕННЫ С ТЕЛОМ

В. Л. Рахлин

Как известно, применение радиометров в медицинской термографии сталкивается с необходимостью учитывать влияние рассогласования антенны с телом человека на точность измерения температуры внутренних органов. Надо либо знать

коэффициент отражения системы тело — антенна и вводить в расчетные формулы поправочные коэффициенты, либо как-то компенсировать влияние коэффициента отражения. Последнее, как показано Троицким [1], может быть достигнуто при термодинамическом равновесии систем человек — радиометр — эталоны теплового излучения или же подбором у эталонов излучения таких же коэффициентов отражения, как и у человека. Для достижения термодинамического равновесия необходимо нагревать антенну, соединительный кабель, входной циркулятор, опорную нагрузку и т. д. и поддерживать у них строго постоянную температуру, близкую к температуре человеческого тела — около 310 К. Это не всегда удобно.

Предлагаемая система квазитермодинамического равновесия не требует подогрева и термостатирования аппаратуры и обеспечивает при определенных условиях точность измерения, близкую к точности при термостатировании аппаратуры. Рассмотрим обычную схему входа рис 1. В опорное плечо циркулятора подается сигнал от генератора шума, имеющего регулировку интенсивности. Обозначим вход циркулятора, куда подключена антенна, буквой B и определим совокупность всех сигналов в этой точке, идущих в усилитель.

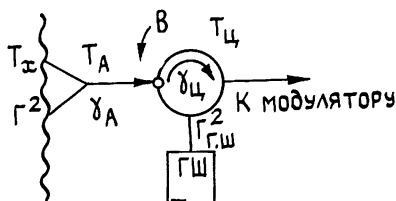


Рис. 1.

При развязке циркулятора более 18 дБ сигнал в точке B будет

$$T_B = T_x(1 - \gamma_A)(1 - \Gamma^2) + T_A \gamma_A(1 - \Gamma^2) + T_{ц} \gamma_{ц} \Gamma^2 + T_{г.ш}(1 - \gamma_{ш}) \Gamma^2,$$

или, разделив выражение на $(1 - \gamma_A)$, получаем

$$\alpha_x = T_x - T_x \Gamma^2 + T_A \frac{\gamma_A}{1 - \gamma_A} + T_{ц} \frac{\gamma_{ц}}{1 - \gamma_A} \Gamma^2 + T_{г.ш} \frac{1 - \gamma_{ш}}{1 - \gamma_A} \Gamma^2 - T_A \frac{\gamma_A}{1 - \gamma_A} \Gamma^2.$$

После группировки членов запишем

$$\alpha_x = T_x + T_A \frac{\gamma_A}{1 - \gamma_A} + \left(T_{ц} \frac{\gamma_{ц}}{1 - \gamma_A} + T_{г.ш} \frac{1 - \gamma_{ш}}{1 - \gamma_A} - T_x - T_A \frac{\gamma_A}{1 - \gamma_A} \right) \Gamma^2, \quad (1)$$

где T_x — температура излучаемого телом сигнала, T_A — температура антенны и соединительного кабеля, $T_{ц}$ — температура циркулятора, $T_{г.ш}$ — температура сигнала генератора шума, γ_A — совокупность потерь в антенне и кабеле, $\gamma_{ц}$ — прямые потери в плече циркулятора, Γ^2 — коэффициент отражения по мощности для антенны от тела.

Когда антенна устанавливается на эталон теплового радионизлучения, согласованный с антенной, т. е. когда $\Gamma^2 = 0$, то соответственно выход радиометра от первого эталона

$$\alpha_{э_1} = T_{э_1} + T_A \gamma_A (1 - \gamma_A)^{-1} \quad (2)$$

и от второго эталона

$$\alpha_{э_2} = T_{э_2} + T_A \gamma_A (1 - \gamma_A)^{-1}. \quad (3)$$

Направим антенну в пространство, с которым она почти полностью рассогласована, т. е. $\Gamma^2 = 1$. Здесь выход, согласно (1), будет

$$\alpha_{возд} = T_{ц} \gamma_{ц} (1 - \gamma_A)^{-1} + T_{г.ш} (1 - \gamma_{ш}) (1 - \gamma_A)^{-1}. \quad (4)$$

Подберем такую величину сигнала генератора шума $T'_{г.ш}$, чтобы выход радиометра, когда антенна направлена в воздух (4), был равен выходу от сигнала первого эталона (2), т. е.

$$T_{ц} \frac{\gamma_{ц}}{1 - \gamma_A} + T'_{г.ш} \frac{1 - \gamma_{ш}}{1 - \gamma_A} = T_{э_1} + T_A \frac{\gamma_A}{1 - \gamma_A}. \quad (5)$$

Подставляя (5) в (1), получаем

$$\alpha_x = T_x + T_A \gamma_A (1 - \gamma_A)^{-1} + (T_{э_1} - T_x) \Gamma^2. \quad (6)$$

Решая совместно (2), (3) и (6), для искомой температуры имеем

$$T_x = T_{э_1} + (T_{э_2} - T_{э_1}) (\alpha_x - \alpha_{э_1}) (\alpha_{э_2} - \alpha_{э_1})^{-1} - (T_{э_1} - T_x) \Gamma^2. \quad (7)$$

Последний член этого выражения представляет собой абсолютную ошибку измерения

$$\Delta T = (T_{э_1} - T_x) \Gamma^2. \quad (8)$$

Выбирая температуру первого эталона $T_{э_1}$, близкую к температуре человека, эту ошибку можно сделать, как и в работе [1], очень малой. Обычная контактная антенна имеет КСВН с телом человека около 2,0—2,2. Этому соответствует коэффициент отражения $\Gamma^2 = 0,1 \div 0,15$. Если выбрать температуру первого эталона 35°C (308 К), что близко к температуре радионизлучения человека, то ошибка измерения не превысит $\pm 0,1 - 0,15\text{К}$.

В заключение автор приносит благодарность В. С. Троицкому за просмотр рукописи и ценные указания.

ЛИТЕРАТУРА

1 Троицкий В С — Изв. вузов — Радиофизика, 1981, 24, № 9, с. 1054.

Научно-исследовательский радиофизический институт

Поступила в редакцию
4 января 1984 г.

УДК 681 511:621 317.76 089 68

АНАЛИЗ ДВУХКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ ЧАСТОТНОЙ АВТОПОДСТРОЙКИ В КВАНТОВОМ СТАНДАРТЕ ЧАСТОТЫ

С. А. Козлов, В. А. Логачев, В. В. Мартынов

Работа [1] посвящена анализу дискриминационных характеристик двухконтурной системы АПЧ в пассивном квантовом стандарте частоты (КСЧ). В настоящей работе, являющейся продолжением [1], проводится теоретический анализ устойчивости двухконтурной системы АПЧ в КСЧ, переходных процессов, определяются статические и динамические погрешности.

При анализе будем предполагать, что инерционность всех элементов схемы мала по сравнению с инерционностью интегрирующих усилителей.

Для расстройк кварцевого генератора относительно частоты атомного перехода и резонатора (относительно частоты кварцевого генератора) можно написать

$$\Delta\omega_{\text{кв}}(t) = \Delta\omega_{\text{н.кв}} - S_{\text{кв}} U_{y1}(t); \quad (1)$$

$$\Delta\omega_{\text{р}}(t) = \Delta\omega_{\text{н.р}} - S_{\text{р}} U_{y2}(t), \quad (2)$$

где $\Delta\omega_{\text{н.кв}}$, $\Delta\omega_{\text{н.р}}$ — начальные расстройки кварцевого генератора и резонатора, U_{y1} , U_{y2} — напряжения на выходах интегрирующих усилителей, $S_{\text{кв}}$, $S_{\text{р}}$ — крутизна управления частотой кварцевого генератора и резонатора.

Для напряжений на выходах интегрирующих усилителей имеем

$$(k_i + 1) T_i' \frac{dU_{yi}(t)}{dt} + U_{yi}(t) = k_i U_{di}(t), \quad i = 1, 2, \quad (3)$$

где k_i — коэффициент усиления интегрирующего усилителя по постоянному току, T_i' — постоянная времени RC-цепочки в интегрирующем усилителе, U_{di} — напряжения на выходах синхронных детекторов.

Для напряжений на выходах синхронных детекторов U_{di} в случае малых расстроек $\Delta\omega_{\text{кв}}(t)$ и $\Delta\omega_{\text{р}}(t)$ можно написать следующие уравнения:

$$U_{d1}(t) = S_{11} N \Delta\omega_{\text{кв}}(t - T_{31}) + S_{12} \Delta\omega_{\text{р}}(t - T_{31}), \quad (4)$$

$$U_{d2}(t) = S_{21} N \Delta\omega_{\text{кв}}(t - T_{32}) + S_{22} \Delta\omega_{\text{р}}(t - T_{32}),$$

где T_{3i} — времена запаздывания в трактах прохождения сигнала, N — коэффициент умножения частоты кварцевого генератора, S_{11} , S_{22} — крутизны дискриминатора по расстройке кварцевого генератора и резонатора соответственно, S_{12} , S_{21} — взаимные крутизны дискриминатора, отражающие связь между расстройками кварцевого генератора и резонатора.

На основании уравнений (1)—(4) эквивалентную структурную схему анализируемой системы АПЧ можно представить в виде, показанном на рис. 1. На нем