

диента при помощи управляемых источников постоянного тока. Конфигурация токовых шиммов заимствована из [3]. Катушка возбуждения и приемная катушка экранированы медной фольгой, присоединенной к корпусу.

Выводы катушек и шиммов присоединяются к платам с электронными компонентами, которые смонтированы внутри яра магнитной системы, что позволило уменьшить паразитные емкости и микрофонный эффект. На платах расположены блок управления вектором ядерной намагниченности и приемный усилитель сигналов ЯМР. Приемный усилитель выполнен в виде двухкаскадного дифференциального усилителя на высокочастотных транзисторах. Управление вектором ядерной намагниченности осуществляет высокочастотный источник синусоидального тока. Он представляет собой высокочастотный генератор с электронной перестройкой частоты и электронной регулировкой амплитуды генерируемых колебаний. В качестве задающего генератора источника тока использована схема автодина, приведенная в [4]. Для исключения взаимного влияния платы монтируются в экранирующих латунных корпусах.

Испытания первичного преобразователя проводились на водопроводной воде. Частота принимаемого сигнала от протонов воды составляла 6,38 МГц, что соответствует гиромагнитному отношению для протонов 42,57 МГц/Гл.

ЛИТЕРАТУРА

1. Леше А. Ядерная индукция: Пер. с нем. — М.: ИИЛ, 1963.
2. Постоянные магниты. Справочник / Под ред. Пятин Ю.М. — М.: Энергия, 1980.
3. Borer K., Fremont G. The nuclear magnetic resonance magnetometer type 9298 // CERN 77-19. Experimental physics division. 26.10.1977.
4. Пряжин А.Е. Следящий магнитометр ядерного магнитного резонанса с цифровой индикацией в гауссах // Приборы и техника эксперимента. — 1981—№ 6. — С. 127 — 131.

УДК 621.385.6

А.А. Полищук, доцент; Г.А. Михальцевич, ассистент

ВЛИЯНИЕ МОДУЛЯЦИОННЫХ ПОТЕРЬ НА ДИАПАЗОН И КРУТИЗНУ ЭЛЕКТРОННОЙ НАСТРОЙКИ В ГЕНЕРАТОРАХ РЕЗОНАНСНОГО ТИПА

It is shown that the energy loss account during the electron stream modulation by the high frequency field in the resonator clearance results in the sufficient change of the oscillation system figure of merit.

In the result the electronic tuning curves become assymmetrical.

В ряде работ, например [1], для упрощения влияния угла пролёта электронов через зазор резонатора в СВЧ-устройствах с отражательными полями действующее напряжение между обкладками резонатора усредняется по времени пролета электронов, т.е. берется какое-то среднее напряжение. Следовательно, учет конечного угла пролёта электронов сводится к уменьшению амплитуды модулирующего высокочастотного напряжения в "М" раз.

При прохождении однородного по плотности электронного потока с начальной скоростью U_0 через зазор резонатора конечной величины на него воздействует переменное модулирующее напряжение между сетками U_1 , в результате чего скорость на выходе из зазора изменяется, т.е. электроны в положительные полупериоды ВЧ-напряжения будут выходить с увеличенными скоростями, а в течение отрицательных

полупериодов – с уменьшенными скоростями, так как изменение энергии электронов в общем случае определяется произведением зарядов электронов и среднего значения высокочастотного напряжения. Но поскольку в положительный полупериод в зазоре всегда больше электронов, чем в отрицательный полупериод, так как заторможенные электроны имеют большее время пролета и, следовательно, часть электронов не успевает покинуть зазор к началу ускоряющего периода, то всегда энергия модуляции электронов, затраченная на ускорение электронов, больше энергии, затраченной на торможение электронов. А так как реальные миниатюрные генераторы клистронного типа работают при конечных узлах пролета электронов через зазор резонатора в пределах $\pi/2 \div \pi$, то весьма интересным представляется анализ взаимодействия электронного пучка с высокочастотным полем с учетом изменения амплитуды ВЧ-напряжения за время пролета электронов. Очевидно, при значительных углах пролета электронов вариация по скорости происходит с поглощением активной мощности от переменного электрического поля. Это явление при скоростной модуляции эквивалентно увеличению собственной активной проводимости резонатора.

Исследуем влияние модуляционных потерь на такие параметры маломощного клистронного генератора, как диапазон и крутизна электронной настройки.

Электронная настройка является одним из основных достоинств генераторов клистронного типа и широко применяется на практике. Данный метод настройки базируется на использовании реактивных свойств электронного потока при изменении напряжения на отражателе, на который электроны не попадают, и, таким образом, не происходит потребление мощности.

Уравнение, связывающее между собой отклонение частоты колебаний от резонансной и угол пролета электронов в пространстве отражателя, можно представить в виде [1]

$$\frac{2\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{1}{Q_n} \operatorname{tg} \Delta\theta, \quad (1)$$

где Q_n – добротность нагруженного резонатора.

Так как в формуле (1) Q_n не зависит от угла, то теоретическая кривая электронной настройки имеет вид симметричной тангенсоиды.

Учет потерь энергии при модуляции электронного потока электронов высокочастотным полем при прямом и обратном пролете электронов через ВЧ-зазор резонатора только через удвоенную величину монотонных потерь, например, по формуле [1]

$$W_m = I_0 U_0 \frac{\xi^2}{2\psi_0^2} [2(1 - \cos \psi_0) - \psi_0 \sin \psi_0] \quad (2)$$

приводит лишь к незначительному измерению добротности Q_n .

Как было отмечено в работе [2], при определении величины мощности, расходуемой на модуляцию электронного потока высокочастотным полем, для конечных углов пролета электронов на основе закона сохранения энергии с учетом всех членов разложения в ряд вплоть до квадратичных имеем следующее выражение:

$$W'_{\max} = I_0 U_0 \frac{\xi^2}{2\psi_0^2} [2(1 - \cos \psi_0) - \psi_0 \sin \psi_0] (1 - \cos \Delta\theta), \quad (3)$$

где I_0 – рабочий ток; U_0 – напряжение резонатора; ξ – коэффициент использования постоянного ускоряющего напряжения; ψ_0 – угол пролета ВЧ-зазора резонатора; $\Delta\theta$ – отклонение угла пролета электронов в пространстве отражателя.

Таким образом, дополнительная проводимость за счет модуляционных потерь составит

$$g_m = \frac{1}{2} \frac{I_0}{U_0 \psi_0^2} [2(1 - \cos \psi_0) - \psi_0 \sin \psi_0] (1 - \sin \Delta\theta) =$$

$$= \frac{1}{2} g_0 M^2 \left(1 - \frac{\cos \psi_0 / 2}{\mu}\right) (1 - \sin \Delta\theta), \quad (4)$$

где g_0 – проводимость постоянного электронного потока;

M – коэффициент взаимодействия высокочастотного поля зазора с электронным потоком.

Принимая во внимание выражение (4), можно добротность нагруженного клистронного генератора представить в виде

$$Q_n' = \frac{\omega C}{g_n + g_r + g_m} = \frac{\omega C}{g_n + g_r + \alpha_1 (1 - \sin \Delta\theta)}, \quad (5)$$

где $\alpha_1 = \frac{1}{2} g_0 M^2 \left(1 - \frac{\cos \psi_0 / 2}{M}\right)$; g_r – проводимость, эквивалентная активным потерям резонатора; g_n – активная проводимость полезной нагрузки, трансформированной к центру ВЧ-зазора; C – емкость эквивалентного колебательного контура.

С учетом соотношения (5) формула (1) перепишется в следующем виде:

$$\frac{2\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{g_n + g_r + \alpha_1 (1 - \sin \Delta\theta)}{\omega C} \operatorname{tg} \Delta\theta. \quad (6)$$

Как следует из выражения (6), кривые электронной настройки приобретают асимметричный вид.

Для определения и анализа крутизны электронной настройки с учетом потерь энергии на модуляцию электронов запишем формулу [1]:

$$\frac{\partial f}{\partial U_{отр}} = -f_0 \frac{\pi(n+3/4)}{Q_n (U_0 - U_{отр})}, \quad (7)$$

где $U_{отр}$ – тормозящее напряжение отражателя; n – номер зоны генерации; f_0 – резонансная частота электромагнитных колебаний.

Подставляя значение Q_n из выражения (5) в формулу (7), получим следующее соотношение:

$$\frac{\Delta f}{\Delta U_{отр}} = f_0 \frac{\pi(n+3/4)[g_r + g_n + \alpha_1 (1 + \sin \Delta\theta)]}{\omega C (U_0 - U_{отр})}. \quad (8)$$

Сопоставляя крутизну электронной настройки в зависимости от напряжения отражателя с учетом и без учета потерь на модуляцию, т.е. формулы (8) и (7), видим,

что значение крутизны электронной настройки при учете монотронных потерь увеличивается особенно в области отрицательных углов $\Delta\theta$.

На основании условия возникновения и существования генерации в клистроне ширина зон генерации и диапазон электронной настройки при неизменных активных проводимостях резонатора и нагрузки для конечных углов пролета электронов через ВЧ-зазор зависят от проводимости, обусловленной потерями на модуляцию g_m . Следовательно, по формуле (5), с увеличением модуляционных потерь, добротность колебательной системы клистронного генератора падает, что приводит к увеличению диапазона и крутизны электронной настройки.

Полученные в работе соотношения с использованием оригинального кинематического метода учета влияния конечного угла пролета электронов через зазор резонатора значительно проще и нагляднее других аналогичных соотношений, известных в литературе, решаются численно и весьма удобны для практических расчетов вновь создаваемых СВЧ-устройств с тормозящими полями в миниатюрном исполнении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федоров Н.Д. Электронные приборы СВЧ и квантовые приборы. М.: Атомиздат, 1989.
2. Полищук А.А. Энергетические соотношения в клистронном генераторе// Научные и прикладные проблемы энергетики. Вып. 3. Минск, 1986.

УДК 681.121

В.И. Бакаленко, доцент, Г.В. Вальковский, инженер

ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ В ОТКРЫТЫХ СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

The methodical error of devices of the account of heat is considered caused by algorithm of calculation of quantity of heat. The influence either of values of the parameters of a heating system, or the arrangements of the parameters control points on an error of measurement is shown.

Стремление к уменьшению расходов на оплату за использованное тепло заставляет потребителей отказываться от «нормативного» способа расчетов и все более широко внедрять узлы коммерческого учета и рассчитываться с поставщиком по показаниям установленных у них приборов. Существующий в республике рынок приборов учета тепла представлен более чем десятком различных моделей. Многие из них имеют достаточно близкие метрологические характеристики (МХ) и функциональные возможности, что создает проблему при выборе той или иной модели. В этих условиях важными задачами являются обеспечение сходимости результатов, т.е. показания приборов, установленных у поставщика, должны совпадать с суммарными показаниями приборов потребителей и с указанной в технической документации погрешностью, а также выбор корректного алгоритма вычисления потребленного количества теплоты.

Основной источник несходимости – наличие систематической погрешности. Определить ее невозможно, так как практически все производители указывают погрешность прибора в виде допускаемого предела, который включает как систематическую, так и случайную составляющие. Например, наиболее распространенные тепло-