

11. Крышнев, Ю. В. Исследование динамики выбега синхронных двигателей с учетом характеристик приводных механизмов / Ю. В. Крышнев // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2002. – № 3–4. – С. 74–81.

Представлена кафедрой
промышленной электроники

Поступила 7.07.2006

УДК 621.385.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА РЕЗОНАНСНОГО ТИПА В КРИТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

Канд. тех. наук, доц. МОРОЗ В. К., канд. физ.-мат. наук, доц. ПОЛИЩУК А. А.,
инженеры МИХАЛЬЦЕВИЧ Г. А., САЦУКЕВИЧ Е. М.

*Белорусский государственный технологический университет,
Белорусский национальный технический университет*

В генераторах резонансного типа энергия источников преобразуется в переменный ток высокой частоты путем периодического изменения плотности потока электронов в вакууме.

Колебательные системы в резонансных генераторах выполнены в виде объемных резонаторов. В двухрезонаторном генераторе (рис. 1) электронный поток, создаваемый катодом 1, регулируется управляющей сеткой 2, на которую подается небольшое напряжение E_c , отрицательное по отношению к катоду. Изменяя это напряжение, можно управлять электронным потоком. Под действием ускоряющего поля анода 3 электроны удаляются от катода и попадают в электрическое поле первого резонатора P_1 , который с двумя сетками C_1 и C_2 образует группирователь.

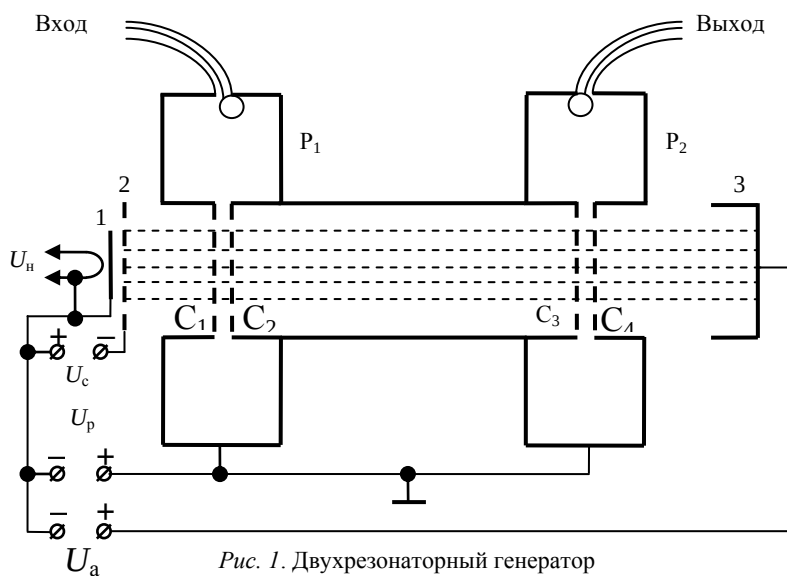


Рис. 1. Двухрезонаторный генератор

К резонатору P_1 при помощи коаксиальной линии подведено переменное напряжение высокой частоты (ВЧ – переменное напряжение). При этом потенциалы сеток C_1 и C_2 попеременно изменяют свой знак. Когда потенциал сетки C_2 положителен, а сетки C_1 – отрицателен, электроны в пространстве между сетками приобретают большую скорость, благодаря действию ускоряющего поля. Когда же потенциал сетки C_2 отрицателен, а сетки C_1 – положителен, движение электронов замедляется. В этом случае на электроны действует тормозящее поле.

При воздействии ВЧ – переменного напряжения электроны, прошедшие через сетки резонатора с меньшей скоростью, сблизятся с электронами, которые пройдут через сетки резонатора позднее, но с большей скоростью. Образуются сгустки и разряжения электронного потока, происходит группирование электронов с переменной плотностью.

На некотором расстоянии от резонатора P_1 помещен второй резонатор P_2 , который с сетками C_3 и C_4 образует улавливатель. Если убрать резонатор P_2 и на анод подать отрицательный потенциал, то получим одноконтурный резонансный генератор с отражательным полем. Для увеличения мощности такого генератора необходимо увеличивать зазор между двумя сетками резонатора.

Проанализируем кинематику электронов в электровакуумном генераторе при критической напряженности поля, при которой происходит срыв электромагнитных колебаний.

При прохождении первичного электронного потока между сетками резонатора со скоростью $v_0 = \sqrt{\frac{2e}{m}U_0}$, где e и m – абсолютные величины заряда и массы электрона; U_0 – ускоряющее напряжение на резонаторе, на него воздействует переменное поле $U = U_1 \sin \omega t$. Известно [1], что уравнение движения электрона между сетками резонатора имеет следующий вид:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{eU}{m} \sin \omega t, \quad (1)$$

где x – расстояние между отражателем и резонатором; ω – круговая частота; t – время пролета электрона между 1-й и 2-й сетками резонатора.

Интегрируя уравнение (1) и подставляя значение скорости и координаты в начальный момент времени t' , получим выражения для определения скорости и координаты на границе второй сетки:

$$V_d = V_0 \left[1 - \mu (\cos \omega t - \cos \omega t') \right] \quad (2)$$

$$d = V_0 \left[t - t' + \frac{\mu V_0}{\omega} (\sin \omega t - \sin \omega t') \right] \quad (3)$$

Здесь

$$\mu = \frac{eU}{mV_0\omega} = \frac{\xi}{2\psi_0}; \quad \psi_0 = \frac{d\omega}{V_0},$$

где μ – коэффициент использования постоянного ускоряющего напряжения; ξ – относительный потенциал высокочастотного напряжения; ψ_0 – угол пролета электронов между сетками резонатора.

Вводя обозначения:

$$\omega t' = \varphi, \quad \omega t' = \psi,$$

получим:

$$V_d = V_0 \left[1 - \mu [\cos(\varphi + \psi) - \cos\psi] \right]; \quad (4)$$

$$\psi_0 = \varphi + \mu \cos\psi - \mu \sin\psi - \mu \sin(\varphi + \psi). \quad (5)$$

При анализе электронного генератора малой мощности, как и всякого другого генератора, весьма важно знать условия, при которых электроны могут быть выброшены из зазора резонатора в сторону катода и, таким образом, не будут учтены при определении энергетического баланса.

Подобный вопрос применительно к пролетным клистроном уже рассматривался в [2]. К сожалению, весьма важные выводы этой работы относятся к отдельным значениям угла пролета через зазор резонатора и не обеспечивают функциональной связи между критическим значением угла пролета электронов, при котором происходит срыв колебаний $\xi_{кр}$, и углом пролета электронов между сетками резонатора ψ_0 .

Несмотря на это, некоторые результаты [2] будут использованы для проверки правильности наших дальнейших выводов.

В зазоре резонатора критическая напряженность поля, при которой невозможен выброс электрона в сторону катода, может быть определена из условия $x \geq 0$ для любой, даже самой неблагоприятной, фазы влета электрона в зазор. Естественно, что такая оценка справедлива лишь до тех пор, пока точка возврата электрона находится в зазоре.

Для анализа условий возврата электронов используем (5), положив в нем $\psi_0 = 0$ и заменив φ на φ' . В отличие от угла пролета электрона между сетками ψ угол φ' является углом пролета электронов от первой сетки и обратно. При таких предположениях выражение (5) можно представить следующим образом:

$$1 + \mu \cos\psi - \frac{\mu}{\varphi} \sin(\varphi' + \psi) - \frac{\mu}{\varphi} \sin\psi = 0. \quad (6)$$

Раскрывая синус суммы углов и вводя обозначения:

$$1 - \frac{\sin\varphi'}{\varphi} = R \sin\delta; \quad \frac{1 - \cos\varphi'}{\varphi} = R \cos\delta,$$

где R – активное эквивалентное сопротивление резонатора; δ – коэффициент согласования резонатора с нагрузкой, получим

$$1 + \mu R \sin(\varphi' + \delta) \geq 0, \quad (7)$$

где

$$R = \sqrt{\left(1 - \frac{\sin \phi'}{\phi'}\right)^2 + \left(\frac{1 - \cos \phi'}{\phi'}\right)^2}; \quad \delta = \arctg \frac{\phi' - \sin \phi'}{1 - \cos \phi'}.$$

Из формулы (7) следует, что, когда $R \sin \phi' + \delta \geq 1$:

$$\mu_{кр} = \frac{eE_{кр}}{mV_0\omega} = \frac{1}{R(\phi'_{max})}. \quad (8)$$

На рис. 2 ход кривой $R(\phi')$ показывает согласно (8), что максимальное значение $R(\phi'_{max}) \approx 1,25$.

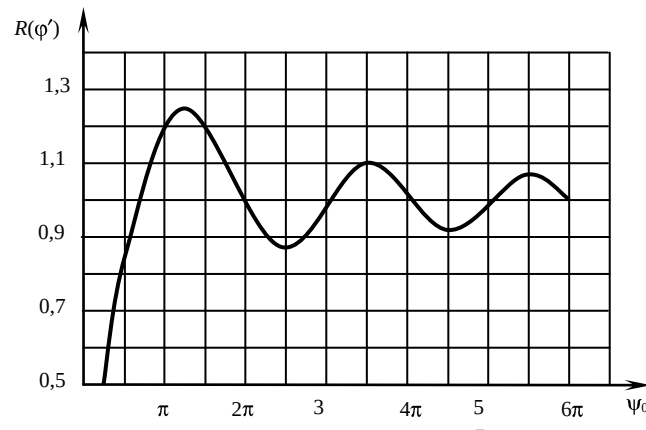


Рис. 2. Зависимость функции $R(\phi')$ от угла пролета ψ_0 электронов между сетками резонатора

Используя формулу для μ в (3) и подставляя максимальное значение $R(\phi')$ в (8), после определенных преобразований получим

$$\xi_{кр} = \frac{V_{кр}}{V_0} = \frac{2\psi_0}{1,25}. \quad (9)$$

Таким образом, при больших углах пролета $\psi_0 \geq 1$ предельная амплитуда переменного напряжения U_1 может значительно превышать V_0 .

Однако формула (9) справедлива лишь для углов пролета $\psi_0 \geq 1$, где кривая $R(\phi')$ представляет собой осциллирующую функцию около прямой $R(\phi')=1$.

Для малых значений $\psi_0 < 1$ функция $R(\phi')$ может быть разложена в ряд по степени ϕ' , т. е.

$$R(\phi') \approx \frac{\phi'}{2} \left[1 - \frac{1}{36} \phi'^2 \right]. \quad (10)$$

Подставляя (8) в (10), получим

$$\mu_{кр} = \frac{2}{\phi'_{max} - \frac{\phi'_{max}}{36}}. \quad (11)$$

Критическое значение относительной амплитуды определяется по формуле

$$\xi_{кр} = \frac{4\psi_0}{\phi'_{max}} \left(1 + \frac{\phi'_{max}}{36} \right). \quad (12)$$

Для малых углов пролета $\psi_0 \ll 1$ получим $\phi'_{max} \approx 4\psi_0$.

Таким образом, для малых углов ($\psi_0 \ll 1$) имеем

$$\xi_{кр} = 1 + \frac{4\psi_0^2}{9}. \quad (13)$$

Граница областей применения формул (9) и (13) определяется из уравнения

$$1 + \frac{4}{9}\psi_{0гр}^2 = \frac{2\psi_{0гр}}{1,25}. \quad (14)$$

Решая уравнение (14) относительно $\psi_{0гр}$, получим $\psi_{0гр} \approx \frac{\pi}{4}$.

Согласно соотношению (14) граница областей пролета и выбрасывания электронов определяется по формулам (9) и (13).

Полученные в работе результаты найдут широкое применение при создании перспективных миниатюрных низковольтных высокоперевансных отражательных приборов, работающих при повышенных углах пролета электронов через высокочастотный зазор резонатора.

ВЫВОДЫ

1. Проанализирована кинематика электронов, пронизывающих ВЧ-зазор резонатора.
2. Определены критические условия, при которых на предельных углах пролета электроны могут быть выброшены из ВЧ-зазора резонатора в сторону катода и, таким образом, не будут учтены при определении энергетического баланса генератора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г о р о ш к о, В. И. Группировка электронов в нелинейном поле отражателя / В. И. Горшко, А. А. Полищук, Г. А. Михальцевич // Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов: материалы междунар. науч.-техн. конф. – Минск: БГТУ, 2003. – С. 32–35.
2. А к м е н т ы н ь ш, Я. Я., П е т р о в, Д. М. // Вопросы радиоэлектроники. Сер. 1: Электроника. – 1965. – № 6.

Представлена кафедрой
АППиЭ БГТУ

Поступила 17.10.2005