

О ПОВЕРХНОСТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛНАХ В СИСТЕМАХ С НЕОДНОРОДНЫМ ИМПЕДАНСОМ

В. И. Таланов

Как известно, неоднородности поверхностного импеданса [1] в неэранированных замедляющих системах приводят, вообще говоря, к трансформации энергии поверхностной волны в энергию полей излучения [2]. Вместе с тем имеются случаи, когда система с неоднородным импедансом допускает существование поверхностных волн, аналогичных поверхностным волнам в системах с однородным импедансом как в отношении структуры поля, так и в том, что они являются нормальными волнами, ортогональными к полям других типов.

В качестве примера рассмотрим двумерные волны с компонентой $H_z \neq 0$, (r, φ , z — цилиндрические координаты) внутри двугранного угла ($\varphi = 0$, $\varphi = \varphi_0$, $0 < \varphi_0 \leq 2\pi$), на гранях которого заданы однородные граничные условия

$$E_r = Z^{(1)}(r)H_z \Big|_{\varphi=0} ; E_r = -Z^{(2)}(r)H_z \Big|_{\varphi=\varphi_0} .$$

Пусть поверхностные импедансы $Z^{(1)}$, $Z^{(2)}$ зависят от координаты r как $1/r$:

$$Z^{(1)} = i \frac{q_1}{kr} Z_0 ; Z^{(2)} = i \frac{q_2}{kr} Z_0 \quad (\text{Im} q_1 = \text{Im} q_2 = 0)$$

($k = \omega \sqrt{\mu\epsilon}$; $Z_0 = \sqrt{\mu/\epsilon}$; μ, ϵ — параметры однородной среды, заполняющей пространство между гранями). Решениями волнового уравнения для H_z будут функции

$$H_{zm} = H^{(1,2)}_{\nu_m}(kr) [q_1 \sin(\nu_m \varphi) - \nu_m \cos(\nu_m \varphi)], \quad (1)$$

где $H_{\nu_m}^{(1,2)}(kr)$ — функции Ханкеля порядка ν_m первого и второго рода, а ν_m — корни характеристического уравнения

$$(q_1 q_2 - \nu_m^2) \text{tg}(\nu_m \varphi_0) = \nu_m (q_1 + q_2). \quad (2)$$

Уравнение (2), помимо бесконечного числа действительных корней, при определенных значениях параметров q_1 , q_2 и угла φ_0 имеет либо один, либо два чисто мнимых корня $\nu_k = i\nu_k$, соответствующих волнам, аналогичным медленным волнам между двумя параллельными импедансными плоскостями.

В частном случае, когда $q_1 = -q_2 = q > 0$, наряду с собственными функциями (1) при $\nu_m = m\pi/\varphi_0$ ($m = 1, 2, 3, \dots$) решениями будут также функции

$$H_{z_0} = H^{(1,2)}_{iq}(kr)e^{-q\varphi}, \quad (3)$$

описывающие поле, экспоненциально убывающее по азимуту φ и не зависящее от угла φ_0 . Последний может быть выбран, например, равным π , что соответствует развертыванию двугранного угла в плоскость. Нетрудно показать, что функции $H_{zm}(r, \varphi)$ ($m = 1, 2, \dots$) и $H_{z_0}(r, \varphi)$ образуют ортогональную систему на интервале ($0 \leq \varphi \leq \varphi_0$).

При условии, что $\exp(-q\varphi_0) \ll 1$, грань $\varphi = \varphi_0$ не играет практически никакой роли в формировании волны (3). Таким образом, мы приходим к поверхностной волне с цилиндрическим фронтом, распространяющейся вдоль плоскости с неоднородным импедансом.

Заменяя в (3) при больших аргументах $kr \gg q$ функции Ханкеля их асимптотическими выражениями [3] получим собственные функции

$$H_{z_0} \sim \sqrt{2Q(r)/\pi q} \sqrt{1 + Q^2(r)} \exp\left[\mp i \int k \sqrt{1 + Q^2(r)} dr - q\varphi + C\right], \quad (4)$$

описывающие поверхностные волны с медленно меняющимися амплитудой и фазовой скоростью. В (4) C — постоянная, $Q(r) = q/kr$.

Рассмотренная система является простейшей моделью неоднородной замедляющей структуры, позволяющей достаточно наглядно описать картину распространения волн. Вместе с тем она представляет известный интерес и с точки зрения некоторых приложений. Так, например, применение в плоских антеннах поверхностных волн замедляющих систем с поверхностным импедансом, изменяющимся по закону $1/r$, дает возможность не только получить требуемые размеры эффективной апертуры антенны, но и (что не менее важно) произвести расчет антенны аналогично расчету рупорных излучателей.

Использованный выше метод разделения переменных в криволинейных (в данном случае цилиндрических) координатах может быть применен к решению задач о рас-

пространении волн и при некоторых других зависимостях поверхностного импеданса от координат, определенным образом связанных с параметрами Ламе для соответствующей координатной системы. При этом следует иметь в виду, что в общем случае неоднородные волны, локализованные в той или иной степени у импедансных поверхностей, могут и не иметь характера поверхностных полей типа (3), монотонно и достаточно быстро (например, чисто экспоненциально) убывающих при удалении от поверхности в направлении изменения соответствующей криволинейной координаты.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Миллер, ДАН СССР, 87, 571 (1952).
2. G. Weill, Annal. Radioel., 10, 228 (1955).
3. Г. И. Ватсон, Теория бесселевых функций, 1, ИЛ, М., 1949.

Исследовательский радиофизический институт
при Горьковском университете

Поступила в редакцию
17 декабря 1958 г.

ЖДУЩИЙ МУЛЬТИВИБРАТОР С ЭЛЕКТРОННОЙ РЕГУЛИРОВКОЙ

А. Ф. Иванов, М. Л. Цетлин

При конструировании вычислительных машин часто возникает потребность в задержке импульсов, время которой должно регулироваться в широких пределах. При этом необходима малая инерционность регулирования, и, по возможности, регулировка должна осуществляться малой мощностью.

Известные в литературе схемы этого рода [1, 2, 3] допускают лишь механическую регулировку задержки, что влечет за собой целый ряд ограничений. Предлагаемая ниже простая схема (см. рис. 1) обладает электронной регулировкой, обеспечивающей

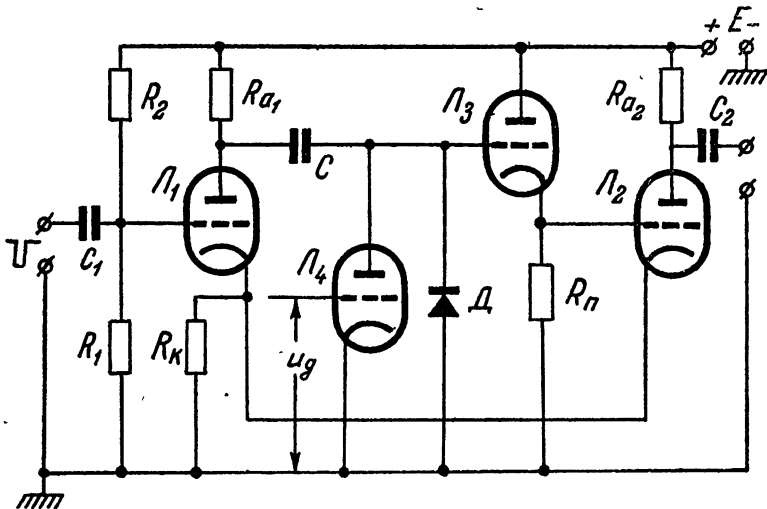


Рис. 1.

достаточную скорость, чувствительность и гибкость управления. Эта схема отличается от схемы обычного ждущего мультивибратора с катодной связью [4, 5] наличием катодного повторителя Λ_3 и управляющей лампы Λ_4 . Лампа Λ_2 в отсутствие запускающих импульсов заперта анодным током Λ_1 . При подаче на схему отрицательного запускающего импульса зарядный ток конденсатора C создает падение напряжения на лампе Λ_4 , за счет которого возникает положительный потенциал на сетке катодного повторителя Λ_3 , а, следовательно, и на сетке лампы Λ_2 , соединенной с катодом повторителя. Время заряда емкости C определяется током через лампу Λ_4 , который, в свою очередь, регулируется потенциалом ее сетки.

Применение катодного повторителя позволяет исключить шунтирующее действие сопротивления сетка—катод лампы Λ_2 . Диод D служит для уменьшения времени восстановления схемы.