

ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ

УДК 621.372.542.59

РАСЧЕТ ЕМКОСТЕЙ СГЛАЖИВАЮЩИХ ФИЛЬТРОВ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ДЛЯ ЛАМП БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ

М.И. Мусянков, зам. зав. кафедрой «Космические информационные системы» МИРЭА, к.т.н.
И.Г. Самодуров, инженер

Мощные лампы бегущей волны (ЛБВ) усиливают радиоимпульсы СВЧ-сигнала, т. е. работают в импульсном режиме. Диапазон длительностей радиоимпульсов может меняться в очень широких пределах. Самые длинные радиоимпульсы имеют спад (скол) вершины из-за того, что конденсаторы источника электропитания частично разряжаются (ток в нагрузке больше тока трансвентилля). Происходит некоторое падение напряжения на конденсаторе сглаживающего фильтра (СФ). Встает вопрос об оптимальном выборе среднего тока трансвентилля и емкости СФ в конкретной цепи электропитания ЛБВ при минимальных габаритах и весе.

Введение. Работа ЛБВ в усилительном режиме представляет собой сложный физический процесс, который описывается нелинейными уравнениями. В работах [1–6] показано взаимодействие электронного потока с СВЧ-сигналом. В [6] введено понятие синхронизма: электронный поток свою кинетическую энергию максимально отдает (излучает) СВЧ-сигналу и происходит максимальное усиление по мощности при практически нулевом сдвиге фазы выходного СВЧ-сигнала относительно входного. В [2–6] не рассматривался вопрос об изменении фазы в СВЧ-сигнале на выходе ЛБВ относительно входа. Только в [1] отмечено, что «типичные значения $\Delta\varphi_{\text{вых}}$ составляют 10° на 1% изменения ускоряющего напряжения U_0 и $2^\circ\text{--}4^\circ$ на 1 дБ изменения входной мощности».

Экспериментально в [7, 8] были проведены исследования зависимости изменения фазы СВЧ-сигнала с входа на выход ЛБВ и получена характеристика $\varphi_{\text{вых}}(U_0)$, где U_0 — напряжение на замедляющей системе относительно катода.

Зависимость мощности P и фазы φ в ЛБВ от напряжения U_0 цепи «катод — замедляющая система» в рабочем диапазоне частот приведена на рис. 1

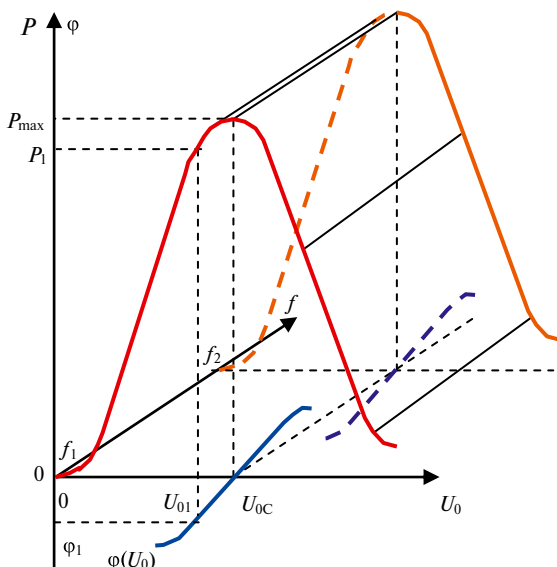


Рис. 1

Необходимо заметить, что изменение фазы колебаний на частоте ω_0 СВЧ-сигнала с входа на выход ЛБВ нежелательно в доплеровских системах. Поэтому при спаде вершины длинного импульса ускоряющего напряжения должно специально оговариваться изменение фазы, так как

$$\frac{d(\Delta\varphi_{\text{вых}})}{dt} = \Delta 2\pi f.$$

Ниже предложен метод расчета емкостей СФ электропитания для ЛБВ при заданном предельно-допустимом отклонении фазы $\Delta\varphi_{\text{доп}}$ с входа на выход ЛБВ в зависимости от режима синхронизма и среднего тока трансвентилля.

Расчет емкостей сглаживающих фильтров электропитания ЛБВ. Для расчета необходимо иметь зависимость мощности P и фазы φ СВЧ-сигнала от ускоряющего напряжения U_0 цепи «катод — замедляющая система». Задавшись предельно-допустимым значением фазы $\Delta\varphi$, получаем ΔU_0 — допустимое изменение ускоряющего напряжения (см. рис. 1).

Можно оценить электрический заряд, который необходим ЛБВ во время открывания. При открывании в ЛБВ происходит переходной процесс в виде фронта импульса тока длительностью τ_ϕ . Этот процесс можно записать в виде:

$$Q_{13c} = \int_0^{\tau_\phi} i(t) dt,$$

где Q_{13c} — заряд, необходимый для формирования фронта тока; $i(t)$ — электрический ток в цепи «катод — замедляющая система». На рис. 2. показан импульс тока i в ЛБВ.

Можно найти функцию $i(t)$, но на практике пользуются упрощенными методами. Предполагается, что ток во время фронта τ_ϕ нарастает линейно во времени. Поэтому воспользуемся приближенным выражением

$$Q_{13c} = 0,5 i_1 \tau_\phi, \quad (1)$$

где i_1 — максимальный ток в начале рабочего импульса через ЛБВ (рис. 2). Этот ток приводится в паспорте на ЛБВ и соот-

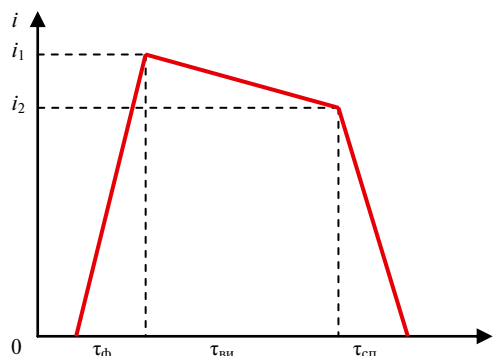


Рис. 2

ветствует номинальному ускоряющему напряжению U_0 . Импульс тока i_1 снижается в рабочем режиме ЛБВ в результате уменьшения U_0 на ΔU_0 , поскольку i_{cp} — средний ток трансвентилля значительно меньше i_1 . Часть заряда конденсатора СФ электропитания преобразуется в ток через ЛБВ.

Введем рабочее время ЛБВ (без переходных процессов фронта и спада, т. е. только вершину импульса). В конце рабочего времени через ЛБВ протекает ток $i_2 < i_1$ (см. рис.2). При этом потребляется заряд, который приближенно можно записать как:

$$Q_{2зс} = 0,5(i_1 + i_2)\tau_{ви}, \quad (2)$$

где $\tau_{ви}$ — длительность вершины самого длинного по времени импульса тока. Ток i_2 вычисляют следующим образом. По допустимому значению фазы φ_1 на графике рис.1 находят ускоряющее напряжение U_{01} , по которому определяют мощность P_1 СВЧ на выходе ЛБВ. Далее

$$i_2 = \frac{P_1}{U_{01}}. \quad (3)$$

Спад импульса тока через ЛБВ можно записать приближенным и простым выражением для электрического заряда:

$$Q_{3зс} = 0,5i_2\tau_{сп}, \quad (4)$$

где $\tau_{сп}$ — время спада импульса тока. Обычно время $\tau_{сп}$ не равно времени $\tau_{сп}$. Общий электрический заряд, обеспечивающий работу электрической цепи замедляющей системы ЛБВ в импульсном режиме

$$Q_{зс} = Q_{1зс} + Q_{2зс} + Q_{3зс}. \quad (5)$$

Если, с одной стороны, электрический заряд обеспечивает работу цепи замедляющей системы ЛБВ, а, с другой — заряд поступает с трансвентилля и емкости СФ $C_{фзс}$ в цепи замедляющей системы ЛБВ, то справедливо выражение:

$$Q_{зс} = C_{фзс}\Delta U_0 + i_{cp}(0,5\tau_{ф} + \tau_{ви} + 0,5\tau_{сп}). \quad (6)$$

Заряд $C_{фзс}\Delta U_0$ должен восстанавливаться за время между импульсами тока $t_{вос} = (T_{п} - \tau_{ви})$ средним током трансвентилля, где $T_{п}$ — период следования самых длинных импульсов, открывающих ЛБВ. Отсюда

$$C_{фзс}\Delta U_0 = i_{cp}(T_{п} - \tau_{ви}). \quad (7)$$

Подставляем (7) в уравнение (6) и получаем:

$$Q_{зс} = i_{cp}(T_{п} - \tau_{ви}) + i_{cp}(0,5\tau_{ф} + \tau_{ви} + 0,5\tau_{сп}). \quad (8)$$

Из (7) можно найти средний ток трансвентилля:

$$i_{cp} = \frac{Q_{зс}}{T_{п} + 0,5\tau_{ф} + 0,5\tau_{сп}}. \quad (9)$$

Необходимо проанализировать i_{cp} на самых коротких импульсах, когда фронт импульса тока $\tau_{ф}$ и спад импульса тока $\tau_{сп}$ остаются неизменными, а меняется заряд $Q_{зс}$ и длительность вершины импульса тока $\tau_{ви}$. Берем максимальный средний ток $i_{cp, макс}$ замедляющей системы и находим фильтрующую емкость:

$$C_{фзс} = \frac{i_{cp, макс}(T_{п} - \tau_{ив})}{\Delta U_0}. \quad (10)$$

Аналогичным образом рассчитывается емкость СФ $C_{фк}$ в коллекторной цепи электропитания ЛБВ. В расчетах используют заряд $Q_{к}$ в коллекторной цепи, допустимое падение напряжения при самом длинном по времени импульсе на коллекторе ЛБВ $\Delta U_{к}$ и средний ток коллекторной цепи $i_{cp, к}$.

В паспорте на ЛБВ приводится импульсный ток коллектора ЛБВ или импульсный ток катода, который в первом приближении является суммой токов замедляющей системы и коллектора. Длительности импульсов, фронты и спады оста-

ются общими для цепей замедляющей системы и коллектора ЛБВ. Зависимость мощности P и фазы φ СВЧ сигнала в ЛБВ, а также тока коллектора $i_{к}$ от ускоряющего напряжения U_0 цепи «катод — замедляющая система» при допустимом отклонении фазы $\Delta\varphi$ можно получить от разработчика ЛБВ.

Предложенный метод расчета емкостей сглаживающих фильтров электропитания ЛБВ экономит время при разработке устройств, избавляет от оценочно-экспериментального подбора емкостей и дает возможность сразу определить средние токи в обеих цепях электропитания ЛБВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. — М.: Высшая школа, 1972.
2. Кацман Ю.А. Приборы сверхвысоких частот. — М.: Высшая школа, 1973.
3. Гвоздовер С.Д. Теория электронных приборов сверхвысоких частот. — М.: Гос. изд-во техн.-теор. лит-ры, 1956.
4. Роуд Д.Е. Теория нелинейных явлений в приборах сверхвысоких частот. — М.: Советское радио, 1969.
5. Силин Р.А. Периодические волноводы. — М.: Фазис, 2002.
6. Трубецков Д.И., Храмов А.Е. Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков. Т. 1. — М.: Физматлит, 2003.
7. Белов Л.А., Благочестенский М.В., Иванов В.А. и др. Экспериментальное исследование усилителя на лампе бегущей волны с автоподстройкой фазы / Доклады науч.-техн. конф. МЭИ. Москва. — 1965. — С. 93—103.
8. Иванов В.А., Хрюнов А.В. Взаимодействие двух гармонических сигналов при усилении в ЛБВ фазы / Доклады науч.-техн. конф. МЭИ. Москва. — 1970. — С. 19...26.

Получено 25.01.08