

2

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

И Ф В Э 81-20

ОИ

Е.В.Мазуров, И.Г.Мальцев, И.М.Шалапов

ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМЫ ВВОДА ВЧ МОЩНОСТИ
В ЛИНЕЙНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ-ИНЖЕКТОР В БУСТЕР

Серпухов 1981

Е.В.Мазуров, И.Г.Мальцев, И.М.Шалашов

**ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМЫ ВВОДА ВЧ МОШНОСТИ
В ЛИНЕЙНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ-ИНЖЕКТОР В БУСТЕР**

Аннотации

Мазуров Е.В., Малышев И.Г., Шалашов И.М.

Элементы системы ввода ВЧ мощности в линейный ускоритель - инжектор в бустер.

Серпухов, 1981.

9 стр. с рис. (ИФВЭ ОИ 81-20).

Библиогр. 6.

Рассмотрены элементы оригинальной системы ввода ВЧ мощности в линейный ускоритель на 30 МэВ - инжектор в бустер протонного синхротрона ИФВЭ. Описан трехдецибелный коаксиальный направленный ответвитель (Т-мост); приведены характеристики мостовых элементов и параметры балластной согласованной нагрузки.

Abstract

Mazurov E.V., Mal'tsev I.G., Shalashov I.M.

Input System Elements of RF Power into Linac-Injector for Booster. Serpukhov, 1981.

p. 9. (IHEP 81-20).

Refs. 6.

The elements of the original input system of RF power into 30 MeV linac-injector for the IHEP proton synchrotron booster are considered. A 3db coaxial directional coupler (T-bridge) is described; the characteristics of the bridge containing elements and the parameters of ballast matched load are given.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с разработкой системы ввода ВЧ мощности (СВВЧ) в линейный ускоритель на 30 МэВ – инжектор в бустер протонного синхротрона ИФВЭ^{/1/} был разработан и изготовлен ряд пассивных высокочастотных элементов.

Схема СВВЧ приведена на рис. 1. Рабочая частота f_p системы 148,5 МГц, размеры трактов 110/48 мм; элементы позволяют канализировать ВЧ мощности в диапазоне 1±2,5 МВт. Н01, Н02, МА, МС идентичны и представляют собой трехдецибелльные направленные ответвители (Т-мосты). ФОС построен на модификации Т-моста. Совокупность МА, ЛП1, ЛП2, ЛД и Б выполняет функции плавного аттенюатора цепи обратной связи (ОС). Рассмотрены конструкции и приведены значения полученных параметров элементов СВВЧ.

Т-МОСТ

В СВВЧ Т-мост использован для согласования ОУ с Р, ответвления сигнала отражения от ПР и суммирования мощностей.

При разработке была поставлена задача создания элемента, нормированная S-матрица которого на частоте f_p

$$[S]_P = [S_{ij}] \quad (1)$$

возможно полное соответствовала бы матрице идеального устройства:

$$[S] = -\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & j \\ 0 & 0 & j & 1 \\ 1 & j & 0 & 0 \\ j & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Нумерация входов Т-моста приведена на рис. 1, 2.

Критерием полноты соответствия матриц (1) и (2) служит комплекс количественных показателей:

1. При идентичных по отражению нагрузках на выходах 3 и 4 и неотражающей нагрузке на выходе 2 КСВ на входе 1 КСВ $\text{вх.1} < 1,1$, т.е. $|S_{11}| < 0,048$.

2. Разность фаз $\Delta\phi_{34}$ между напряжениями на выходах 3 и 4 при тех же условиях не отличается от 90° более, чем на 2° .

3. Разность между коэффициентами связи с выходами 3 и 4 при тех же условиях подчиняется неравенству $C = 10 \lg (P_{\text{вых.3}}/P_{\text{вых.4}}) = 20 \lg (|S_{13}|/|S_{14}|) < 0,13$ или, что то же самое, неравенству $0,97 < P_{\text{вых.3}}/P_{\text{вых.4}} < 1,03$. Здесь $P_{\text{вых.3}}$, $P_{\text{вых.4}}$ — мощности сигналов (см. рис. 2).

4. Коэффициент направленности не должен быть ниже 30 дБ при неотражающих нагрузках: $D = 10 \lg (P_{\text{вых.3}}/P_{\text{вых.2}}) = 20 \lg (|S_{13}|/|S_{12}|) \geq 30$. Здесь $P_{\text{вых.2}}$ — мощность (см. рис. 2).

Т-мост выполнен в виде прямоугольного коаксиального сочленения из двух сквозных 50-омных фидеров и двух примыкающих к ним 35-омных шлейфов. Геометрическая длина шлейфов $l_{\text{гш}}$ и геометрическое расстояние между точками их примыкания $l_{\text{гс}}$ обеспечивают равенство соответствующих эффективных размеров $l_{\text{эш}}$ и $l_{\text{эс}}$ четверти длины рабочей волны λ_p . Соответствующее устройство BNL^{1/2} построено на размерах $3\lambda/4$ и имеет большие габариты. Проводники приведенной разработки медные; внешний проводник имеет диаметр 110 мм, внутренние проводники сквозных фидеров и шлейфов выполнены диаметром 48 мм и 61 мм, соответственно.

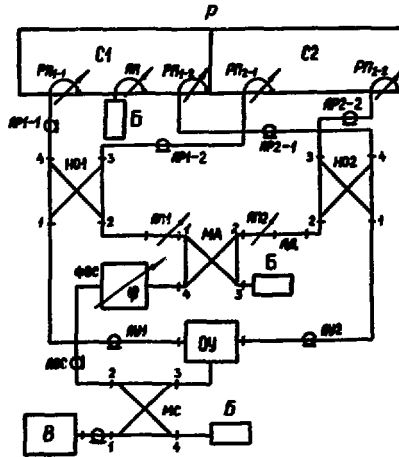


Рис. 1. Рабочая схема ввода ВЧ мощности: Р - резонатор ускорителя; С1, С2 - секции резонатора; РП, ПП - регулируемые петли связи; ОУ - оконечный усилитель; В - возбуждаем; НО1, НО2 - направленные ответвители; МА - Т-мост плавного аттенуатора; ЛП1, ЛП2 - линии переменной длины; ЛД - линия дополнительная; МС - Т-мост сложения сигналов; ФОС - фазовертатель цепи обратной связи; Б - балластная согласованная нагрузка; ЛОС - линия обратной связи; ЛУ1, ЛУ2 - линии связи ОУ с НО; ЛР - линии связи НО с Р.

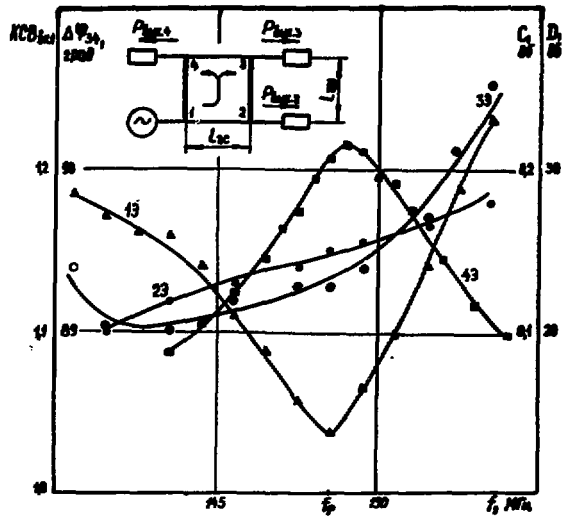


Рис. 2. Радиотехнические характеристики Т-моста в диапазоне частот: 19 - экспериментальная кривая $K_{СВ}$; 29 - экспериментальная кривая $\Delta\varphi_{34}$; 39 - экспериментальная кривая D.

Доводка параметров проводилась подбором $\ell_{ГШ}$ и $\ell_{ГС}$. Результаты численного моделирования с помощью метода, предложенного в работе ^{/3/}, выявляли однозначные зависимости как между частотой f_0 , соответствующей точке с $C = 0$, наиболее удаленной от частоты минимума КСВ_{вх.1} f_1 и расстоянием $\ell_{ЭС}$, с одной стороны, так и между нормированной частотой $\bar{f} = f_1/f_0$ и отношением $\ell_{ЭШ}/\ell_{ЭС}$, с другой стороны. Зависимости имеют вид:

$$\ell_{ЭС} = c/4f_0 = \lambda_0/4; \quad \ell_{ЭШ} = \left(1 - 3,94 \frac{\lg \bar{f}}{\sqrt{\bar{f}}}\right) \ell_{ЭС}. \quad (3)$$

Здесь c — скорость света в пространстве. Второе уравнение системы (3) справедливо, по крайней мере, на отрезке $0,88 < \bar{f} < 1,15$.

Частоты прототипа Т-моста с размерами $\ell_{ГС} = \ell_{ГШ} = \lambda_p/4 = 505$ мм были: $f_0 = 158,5$ МГц, $f_1 = 166$ МГц. Размеры прототипа скорректированы по уравнениям (3) до значений $\ell_{ГС} = 537$ мм, $\ell_{ГШ} = 558$ мм. Измерениями на скорректированном Т-мосте при КСВ нагрузок 1,06 получили: КСВ_{вх.1} = 1,04 < 1,1; $\Delta\phi_{34} = 88,5^\circ$ (т.е. $90^\circ - 89,5^\circ = 0,5^\circ < 2^\circ$); $C = 0,134$; $D = 31$ дБ > 30 дБ. Измерения КСВ_{вх.1} и $\Delta\phi_{34}$ при равных реактивных нагрузках на выходах 3 и 4 дали аналогичные результаты.

Графики характеристик Т-моста приведены на рис. 2. Достигнутые значения параметров элемента удовлетворяют поставленным требованиям.

ФАЗОВРАЩАТЕЛЬ (ФОС)

При разработке ФОС была поставлена задача обеспечения плавной регулировки фазы в диапазоне $0^\circ \div 180^\circ$ в тракте с КСВ = 1,06. ФОС построен на модификации Т-моста с короткозамыкающими плунжерами на выходах плеч 3 и 4. Привод плунжеров дистанционный. Собственный КСВ изготовленного ФОС, определенный по методу Вайсфлота ^{/4/}, не превышает 1,03 в диапазоне регулировки $0^\circ \div 180^\circ$.

ПЛАВНЫЙ АТТЕНУАТОР

Схема плавного аттенуатора приведена на рис. 3. Здесь P_5 и P_6 - мощности сигналов ОС; P_4 - мощность ослабленного сигнала. Ослабление аттенуатора введем формулой

$$L = 10 \lg[(P_5 + P_6)/P_4].$$

Исходным требованием к аттенуатору было обеспечить плавную регулировку L в диапазоне 3 ± 30 дБ при входных КСВ $< 1,1$.

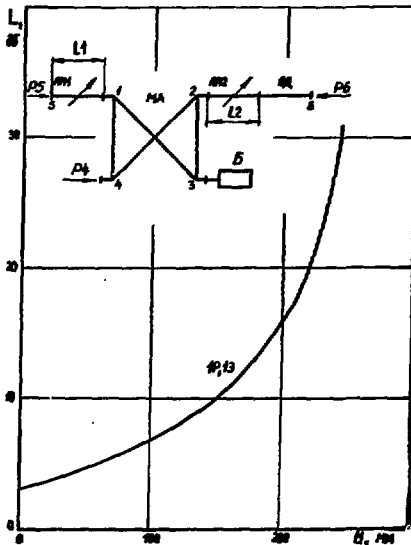


Рис. 3. Регулировочные характеристики плавного аттенуатора: МА - Т-мост аттенуатора; ЛП1, ЛП2 - линии переменной длины; ЛД - линии дополнительные; Б - балластная согласующая нагрузка; IP, IЭ - расчетная и экспериментальная кривые L .

Принцип действия аттенуатора состоит в перераспределении суммарной входной мощности между выходами 3 и 4 устройства при изменении разности фаз сигналов на входах 1 и 2 МА. Это достигается изменением длин ЛП (l_1 и l_2) путем перемещения МА относительно входов 5 и 6. l_1 и l_2 связаны выражением: $l_2 = \lambda_p/8 - l_1$; длина ЛД равна $3\lambda_p/8$. Привод аттенуатора дистанционный.

Характеристики аттенюатора приведены на рис. 3. Элемент обеспечивает плавную регулировку L от 3 дБ до 31 ± 33 дБ при КСВ входов менее 1,09 и удовлетворяет исходным требованиям.

БАЛЛАСТНАЯ СОГЛАСОВАННАЯ НАГРУЗКА (Б)

В задачу разработки входило создание малогабаритной согласованной нагрузки с КСВ $< 1,1$ и поглощением мощности 1,5 МВт в импульсе при работе СВВЧ в номинальном режиме ^{/1/}. При разработке был использован опыт ИЯФ СО АН СССР ^{/5/}. Нагрузка ^{/6/} выполнена в виде резистора (доработка УВ1) в экспоненциальном проводящем рупоре. Охлаждение резистора масляное, с самоциркуляцией масла.

При сопротивлении резистора от 47 до 52,5 Ом нагрузка на частоте f_p имеет КСВ не более 1,1 и устойчиво работает на проектном уровне поглощаемой ВЧ мощности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные устройства составили основу элементной базы оригинальной СВВЧ. Параметры разработанных элементов обеспечили высокую эффективность СВВЧ.

Авторы выражают благодарность В.А.Теплякову за постоянный интерес к работе и сотрудникам ИФВЭ В.И.Чагаеву, А.Б.Масаеву и А.В.Федорову за помощь в измерениях и доработках.

ЛИТЕРАТУРА

1. И.Г.Мальцев. Препринт ИФВЭ 80-4, Серпухов, 1980.
2. J.Keane, R.Lankshar, J.Sheehan and R.Witkover. The prototype rf system for the 200 MeV LINAC for the alternating gradient synchrotron. *IEEE Transl. Nucl. Sci.* NS-16, No. 3, Pt 1, p. 351 (July, 1969).
3. Рид, Уиллер. Метод исследования симметричных цепей с четырьмя выводами. "Вопросы радиолокационной техники". Изд-во иностранной литературы, 1967, 3 (39), стр. 24.
4. В.Д.Стариков. Методы измерения на СВЧ с применением измерительных линий. М., "Сов. радио", 1972.
5. М.М.Карлинер и др. ПТЭ, №3, стр. 38 (1968).
6. Е.В.Мазуров, И.Г.Мальцев, В.И.Нагаев. Препринт ИФВЭ 77-122, Серпухов, 1977.

Рукопись поступила в издательскую группу
27 января 1981 года.

Цена 6 коп.

© - Институт физики высоких энергий, 1981.
Издательская группа И Ф В Э
Заказ 462. Тираж 230. 0,4 уч.-изд.л. Т-08896.
Апрель 1981. Редактор Н.П. Ямба.