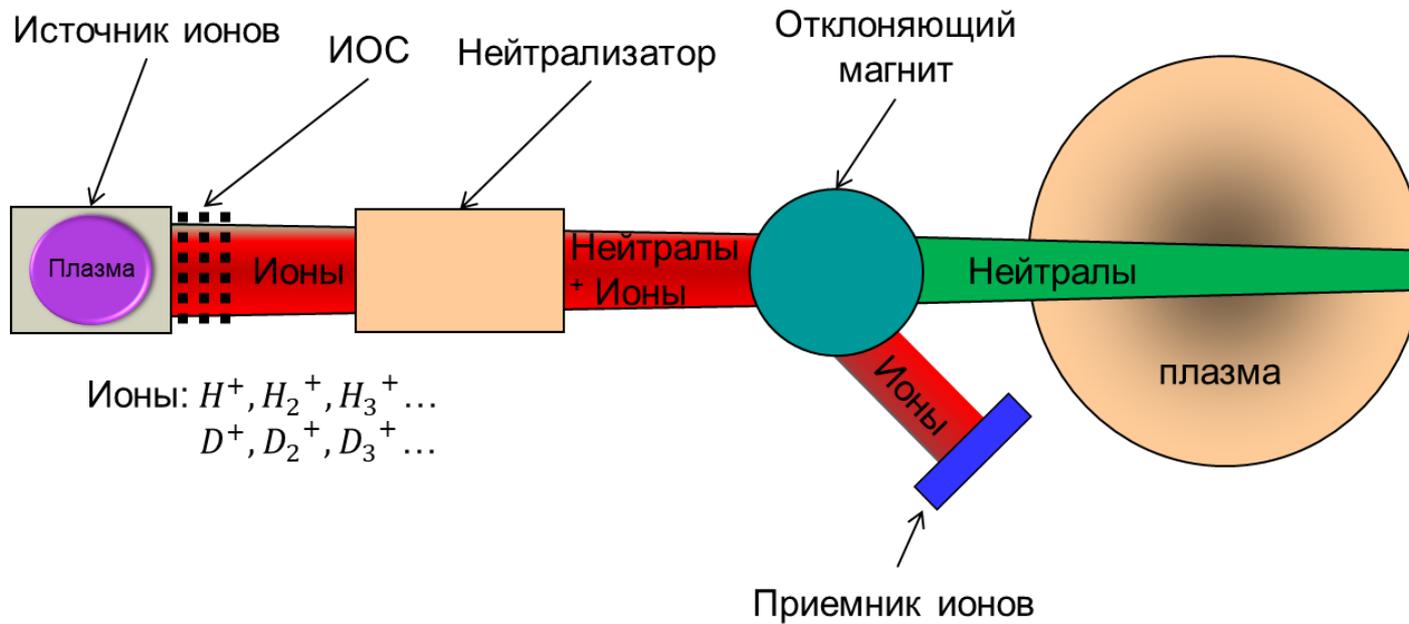


**Разработка высокочастотного плазменного эмиттера с
охлаждаемым экраном Фарадея**

В.А. Воинцев

Научный руководитель:
к.ф.-м.н. И.В. Шиховцев

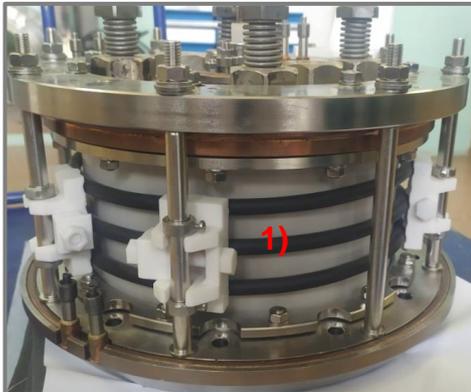
Общая схема атомарного инжектора



Цель работы

Основная цель – разработка и испытание высокочастотного (ВЧ) плазменного эмиттера стабильно работающего с длительными (до 100 с.) импульсами мощностью 40 кВт для работ на установке Н-.

ВЧ плазменный эмиттер



Внешний вид: 1) – антенна ВЧ.



Задний фланец: 2) – узел поджига.

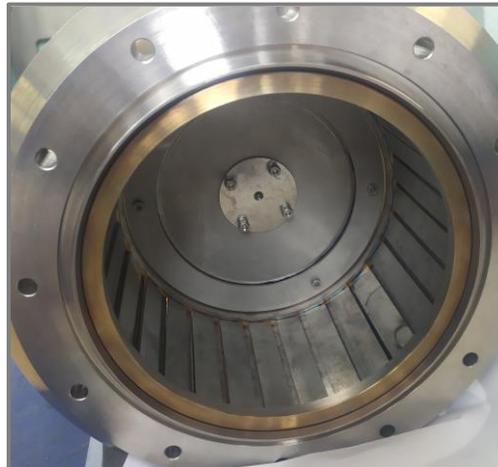


Схема заднего фланца. Красным выделены постоянные магниты внутри фланца.

Экраны Фарадея (ЭФ)

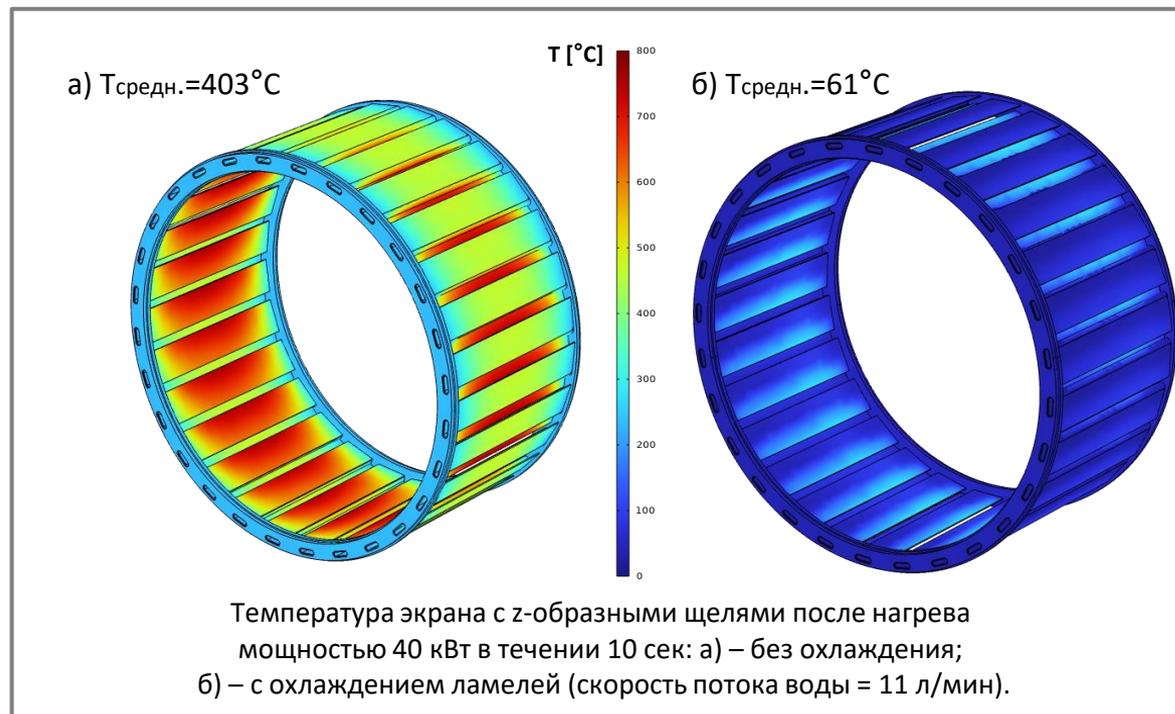


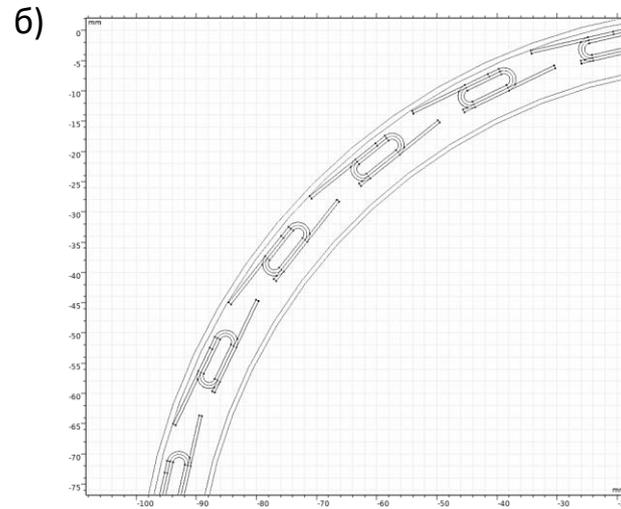
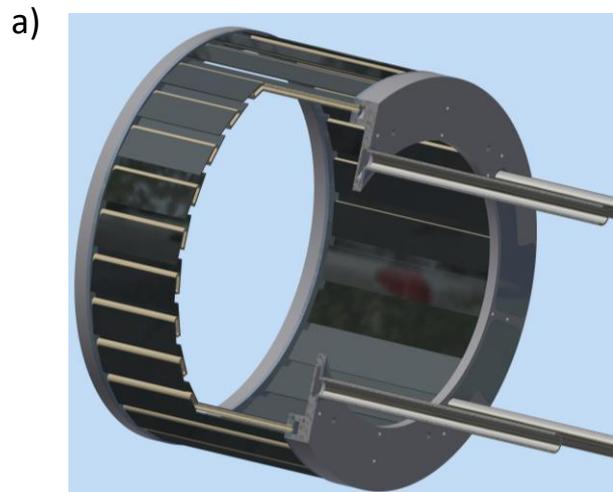
Медный щелевой ЭФ.



Молибденовый ЭФ с z-образными щелями .

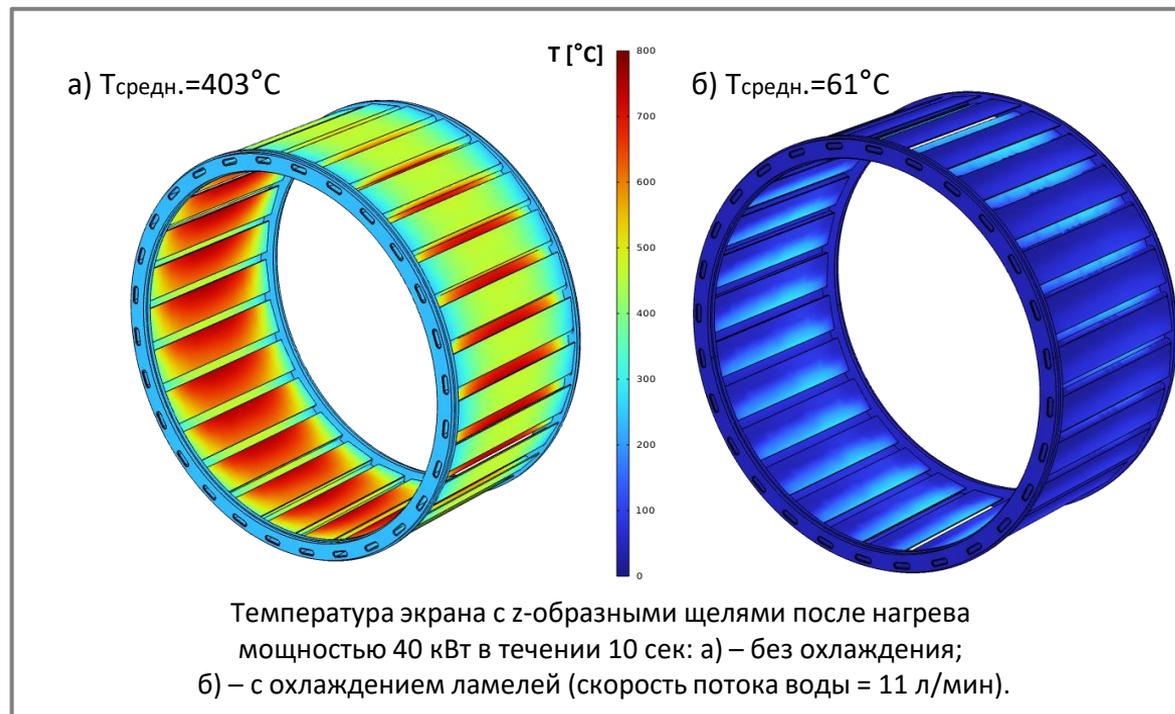
Нагрев ЭФ



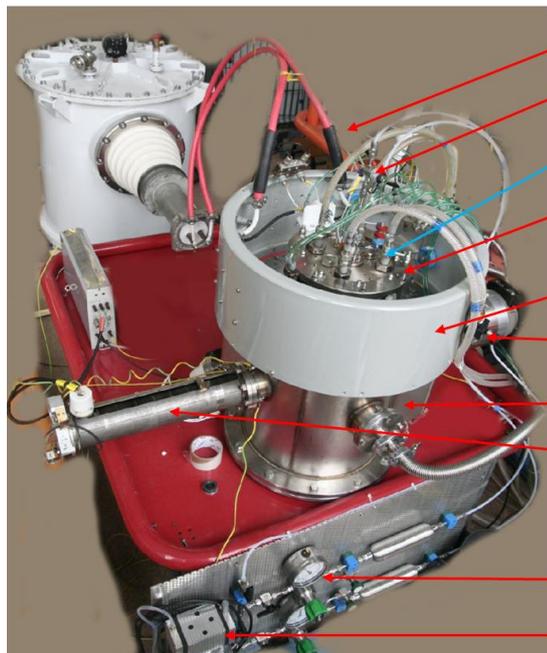


Молибденовый экран с z-образными щелями и трубками охлаждения из нержавеющей стали:
а) – модель ЭФ; б) – структура щелей.

Нагрев ЭФ



Экспериментальная установка



Подводы ВЧ питания от РТ к антенне

Два клапана подачи H₂

Вводы охлаждения ЭФ

Верхний фланец ВЧ драйвера

Внешний ВЧ экран

ТМН

Вакуумная камера с вакууметром и
BF₂ окном с видом на ЭФ

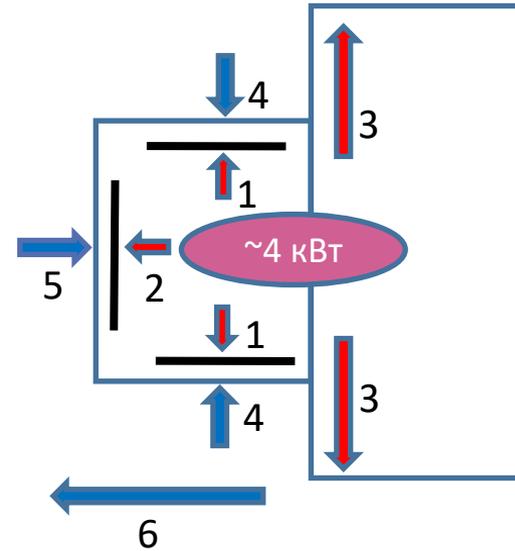
Ввод движения сеточного зонда

Редукторы подачи газа

Форнасос прокачки газовых линий

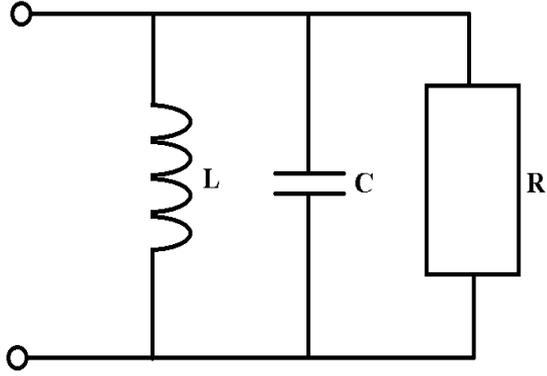
Измерения энергетических потерь по воде

Источник нагрева	Элемент	Мощность (кВт)
	С ВЧ генератора	10,5
1+4	Нагрев экрана с плазмой (по воде)	6,3
2+5	Нагрев задней стенки, катушки и фланцев с плазмой (по воде)	1,3
3	Нагрев вакуумного объема с плазмой (оценка по площади)	1,7
4	Нагрев экрана без плазмы (по воде)	4,0
5	Нагрев задней стенки, катушки и фланцев без плазмы (по воде)	1,3
6	Потери снаружи (сохранение энергии)	1,2
	Итого в плазму	4,0



Источники нагрева установки.

Сопротивление антенного контура



Параллельный колебательный контур.

$$P = \frac{U^2}{2R} \text{ — потери в контуре}$$

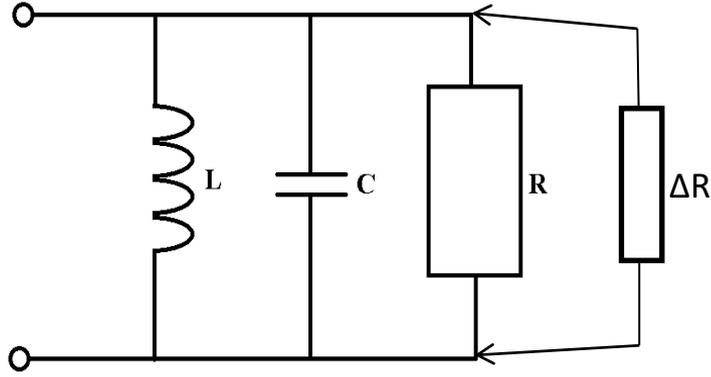
$$Q = \frac{f}{\Delta f} = \frac{R}{\rho} \text{ — добротность контура}$$

R — сопротивление контура (без плазмы)

f — резонансная частота

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Сопротивление антенного контура



Параллельный колебательный контур.

$$P = \frac{U^2}{2R} \text{ — потери в контуре}$$

$$Q = \frac{f}{\Delta f} = \frac{R}{\rho} \text{ — добротность контура}$$

R — сопротивление контура (без плазмы)

f — резонансная частота

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$R = \Delta R \left(\frac{Q}{Q^*} - 1 \right)$$

ΔR — добавочное сопротивление

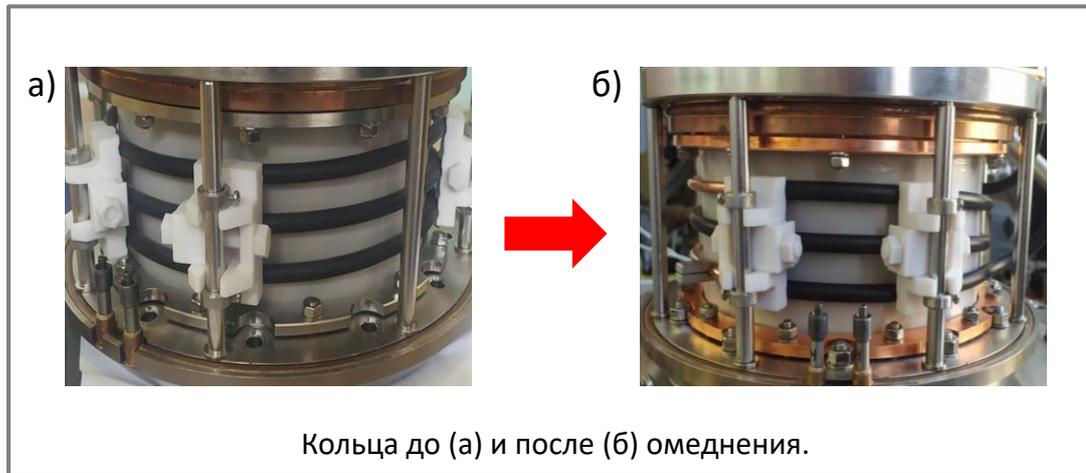
Q^* — добротность с сопротивлением ΔR

Сопротивление антенного контура

Влияние на сопротивления контура (R) элементов эмиттера						
Компоненты	1	2	3	5	6	7
Катушка	+	+	+	+	+	+
Нижний фланец		+	+	+	+	+
Нижнее уплотняющее кольцо		+	+	+	+	
Верхний фланец			+	+	+	+
Верхнее уплотняющее кольцо			+	+	+	
Молибденовая пластина				+	+	+
Шпильки					+	+
Q	306	155	125	124	107	144
Q* (при $\Delta R = 16.25$)	135	96	89	79	70	91
R [кОм]	20,6	10,0	6,7	6,9	6,4	9,3

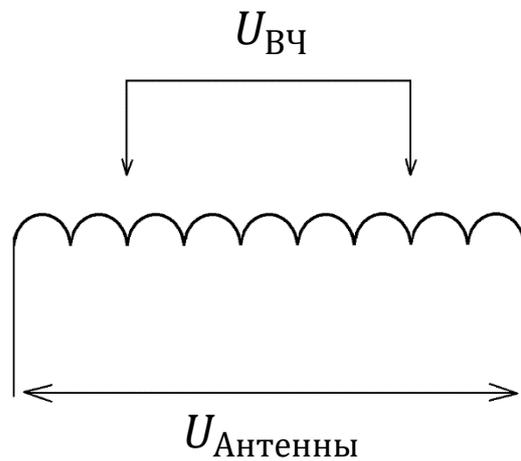
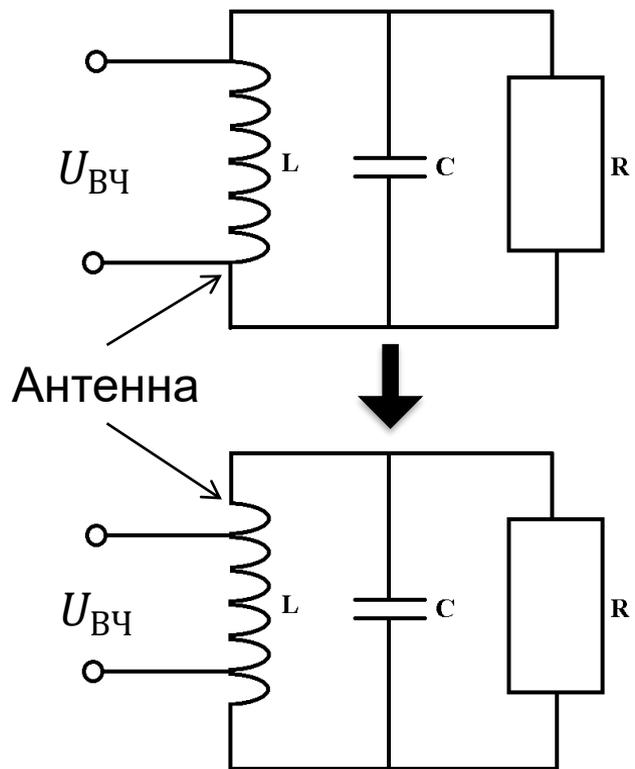


Омедненные уплотняющие кольца



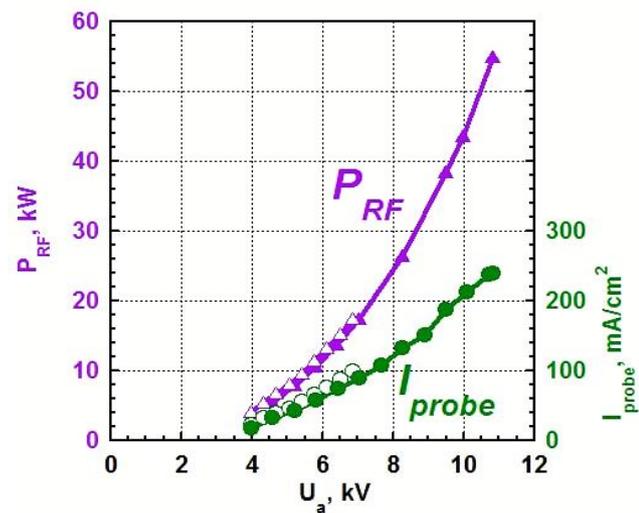
Компоненты	5	6	7
Все остальное (кроме экрана)	+	+	+
Уплотняющие кольца		+	
Уплотняющие кольца (омедненные)			+
Q	144	107	133
Q* (при $\Delta R = 16.25$)	91	70	85
R [кОм]	9,3	6,4	9,1

Частичное включение



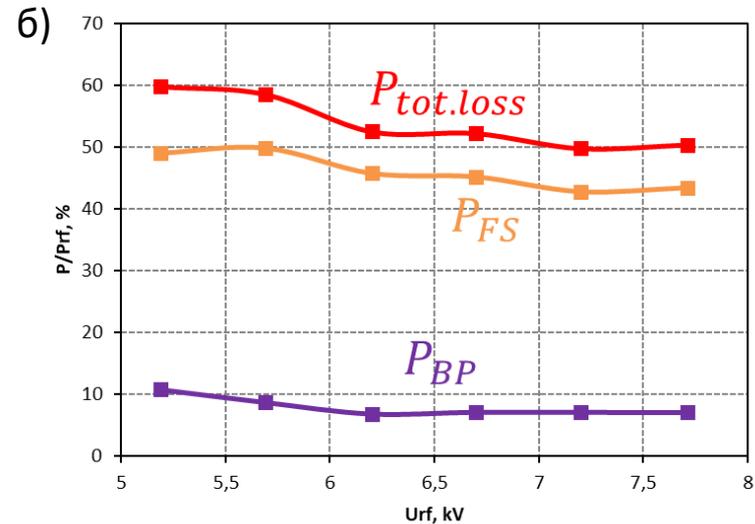
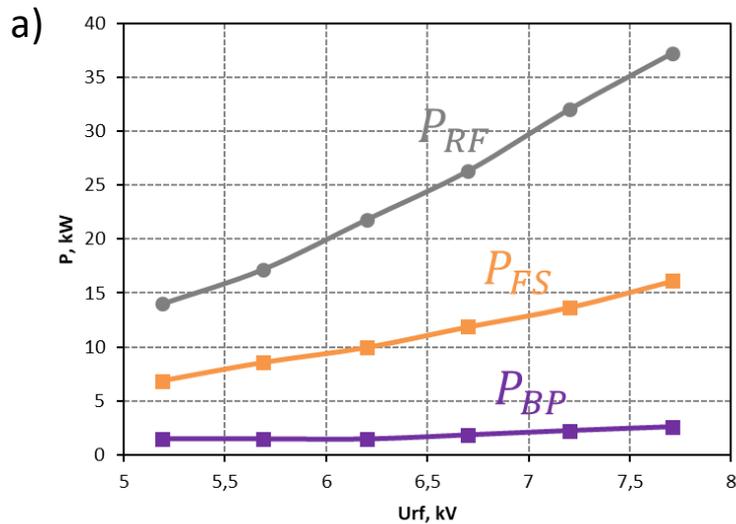
$$U_{Антенны} \sim 1.3 * U_{ВЧ}$$

Короткие импульсы



Мощность, потребляемая генератором (P_{RF}) и плотность тока (I_{probe}) на выходе эмиттера от напряжения на антенне (U_a).

Измерение энергетических потерь по воде

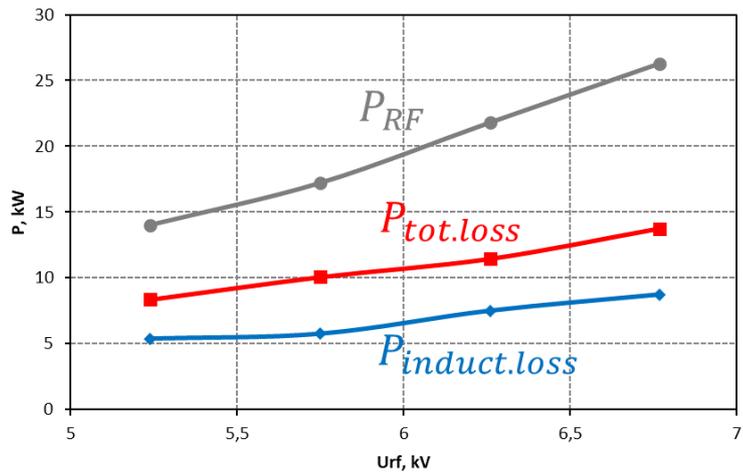


а) Вложенная генератором мощность (P_{RF}) и потери в заднем фланце (P_{BP}) и экране фарадея

(P_{FS}) от ВЧ напряжения (U_{RF});

б) Отношение потерь ($P_{tot.loss} = P_{FS} + P_{BP}$) к вложенной мощности от U_{RF} .

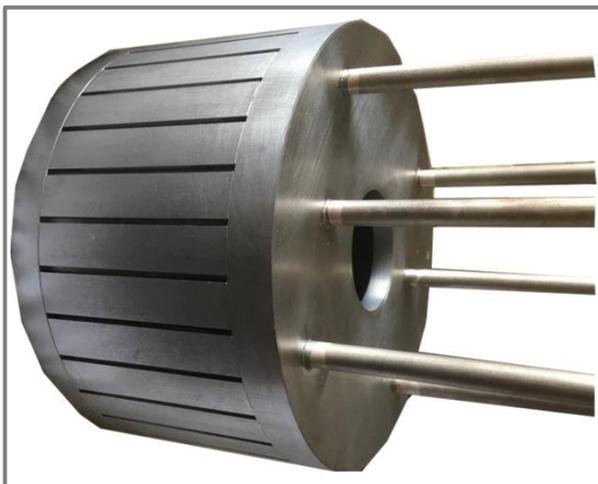
Измерение энергетических потерь по воде



При мощностях, близких к 40 кВт:

- Около половины мощности вместе с частью плазмы уходит в вакуумный объем;
- Всего до плазмы доходит $\sim 70\%$ вкладываемой мощности.

Вложенная генератором мощность (P_{RF}) и потери в эмиттере с плазмой ($P_{tot.loss}$) и без нее ($P_{induct.loss}$) от ВЧ напряжения (U_{RF}).



Медный z-образный экран, покрытый тонким слоем молибдена.

- Измерение нагрева вакуумного объема;
- Испытание медного экрана с z-образными щелями, покрытого молибденовым слоем;
- Достижение импульсов длительностью 100 с.