

## ГЕНЕРАЦИЯ МОЩНЫХ ТОКОВ И ПОТЕНЦИАЛОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ РАДИОВОЛН НА СТЕРЖЕНЬ ПРЯМОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ В ЭНЕРГИЮ ТОКА

*Г.А.Аскаръян, Г.М.Батанов, Н.К.Бережецкая,  
С.И.Грицинин, И.А.Коссов, И.М.Раевский*

Исследовано получение мощных токов и напряжений при действии радиоизлучения на стержень. Получены токи  $\sim 200$  А при нагрузке  $\sim 1$  Ом; потенциалы  $\lesssim 1,5$  кВ, при плотностях потока  $\sim 100$  кВт/см<sup>2</sup>. Указаны возможные механизмы генерации тока и создания потенциалов, во много раз превосходящих энергии осцилляции электронов. Показана возможность эффективного преобразования энергии радиоволн в энергию тока с КПД  $> 10\%$ .

Генерация токов и магнитных полей в плазме под действием мощного электромагнитного излучения представляет большой научный и прикладной интерес. Однако эффективность преобразования энергии волн в энергию тока была крайне низкой. В работе [1] было получено без внешнего потенциала резкое увеличение тока с мишени при воздействии на нее луча импульсного рубинового ( $\lambda = 0,7$  мкм) лазера до 100 А при оптимальном давлении окружающего газа  $\sim 10^{-2}$  мм.рт.ст и было предложено использовать это явление для лазерного эмиссионного преобразования световой энергии в энергию тока (при мощности лазера  $P \sim 30$  МВт были получены мощность тока  $w_j \sim 10$  кВт т. е. КПД  $\sim 3 \cdot 10^{-2}\%$ . В последующих работах [2, 3] были повторены эти результаты и предложения [1]. В частности, в [3] была исследована генерация тока под действием луча CO<sub>2</sub>-лазера ( $\lambda = 10$  мкм) и получены потенциалы 700 В и токи 14 А с КПД  $\sim 10^{-1}\%$ . Большой интерес представляло исследование этого эффекта при больших длинах волн, включая радиоволны.

В данной работе исследованы потенциалы и токи с зонда при воздействии радиоволн сантиметрового диапазона и были получены эффективности преобразования в тысячи раз больше. На рис. 1 дана схема установки. Радиоизлучение проходило через окно в металлическую камеру (1) и с импульсной плотностью потока до  $\sim 100$  кВт/см<sup>2</sup> падало на металлический зонд (2) в диэлектрической оболочке, облегчающей пробой. Плазма у стержня создавалась в результате пробоя на поверхности, от искры или от воздействия луча вспомогательного импульсного лазера, сфокусированного на поверхность. Зонд был соединен с камерой через нагрузочное сопротивление (3), с которого напряжение подавалось на осциллограф. Длительность импульсов СВЧ излучения могла варьироваться в пределах от 10 до 70 мксек. Давление в камере до пробоя могло изменяться от  $10^{-5}$  до  $10^{-1}$  мм.рт.ст. Были получены импульсы напряжения до 1,5 кВ (при больших сопротивлениях нагрузки  $R > 100$  Ом) и токи до 200 А при малых нагрузках ( $R \sim$

$\sim 1 \text{ Ом}$ ). На рис. 2 даны осциллограммы импульса радиоизлучения а) и импульсов напряжения б) при разных сопротивлениях нагрузки. Виден нестационарный режим нарастания напряжения, особенно на малых сопротивлениях.

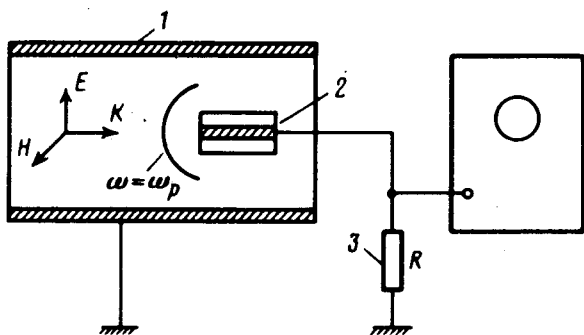


Рис. 1. Схема установки: 1 - металлическая камера, 2 - зонд - металлический штырь в диэлектрической оболочке, 3 - нагрузочное сопротивление

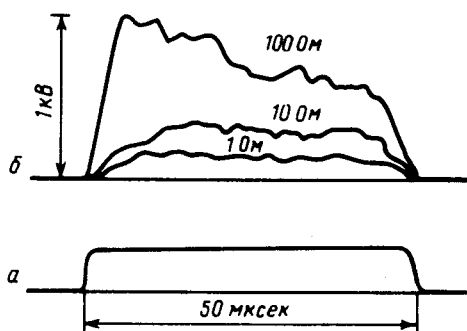


Рис. 2. Осциллограммы импульса радиоизлучения (а) и импульса напряжения (б) при различных сопротивлениях нагрузки

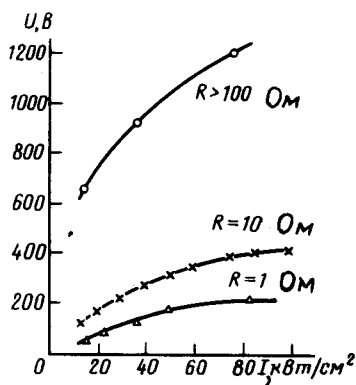


Рис. 3. Зависимость напряжения  $U = RJ$  от плотности мощности

На рис. 3 даны зависимости напряжения  $U = RJ$  от плотности мощности радиоволн  $I_0$  для сопротивлений  $R$  и на рис. 4 даны зависимости  $U$ ,  $J$ ,  $\omega = JU$  от сопротивления нагрузки.

Из результатов экспериментов следует возможность достижения больших токовых мощностей и КПД порядка десятков процентов, что представляет бóльший интерес, чем лазерный вариант преобразования. КПД преобразования энергии электромагнитной волны в энергию тока в цепи зонда максимальна в области малых фоновых давлений. При давлении, превышающем  $10^{-4}$  мм.рт.ст. наблюдается быстрый спад тока  $J$ .

Возможными механизмами, обеспечивающими выброс электронов и создание ЭДС могут быть: резонансное ускорение электронов из зоны плазменного резонанса ( $\omega = \omega_p$ ) из плазмы под действием составляющей поля, нормальной к поверхности слоя плазменного резонанса (отметим, что поверхность этого слоя в нашем случае может иметь кривизну, и поэтому нормальная составляющая поля может быть весьма значительной). Возможно также, что эта эмиссия электронов связана с хвостом температурного или квазitemпературного распределения электронов в результате нагрева плазмы радиоволнами или при ускорении электронов в модуляционной неустойчивости. Отметим, что энергии электронов, образующих потенциалы во много раз превосходят энергии осцилляции

$$\mathcal{E}_e = \frac{e^2 E_0^2}{2m\omega^2} = \frac{2\pi e^2 I}{mc\omega^2} \lesssim 10 \text{ эВ.}$$

Интересно отметить также, что магнитное поле тока может заметно влиять на процессы переноса электронов в нашем случае.

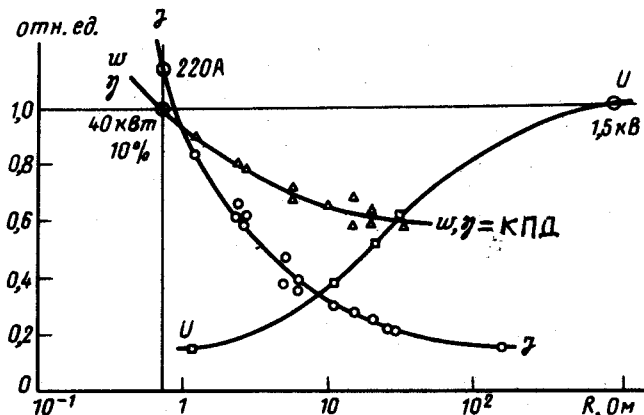


Рис. 4. Зависимость напряжения  $U$ , тока  $I$ , токовой мощности  $w$  и КПД от сопротивления нагрузки  $R$

До сих пор мы имели в виду внешние токи и поля, выходящие из плазмы, однако эти процессы усиливают и внутренние поля и токи в плазме с мишенью, возникающие под действием излучения, наблюдаемые впервые в [4] на несколько лет раньше последующих работ [5].

Полученные результаты позволяют надеяться на возможность эффективной трансформации многомодовых потоков ЭМ волн в токовую энергию [6 – 9] при большой плотности потока, при которой известные способы [7 – 9] трансформации неприменимы.

Для демонстрации практического применения в цепь тока была включена осветительная 30 Вт лампа с подключенным конденсатором, которая горела непрерывно при частоте посылок 30 Гц.

В заключение авторы выражают благодарность профессору М.С.Рабиновичу, академику П.А.Капице и академику А.В.Гапонову за поддержку работы и обсуждение результатов.

Физический институт  
им. П.Н.Лебедева  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
18 апреля 1979 г.

## Литература

- [1] Т.У.Арифов, Г.А.Аскаръян, И.М.Раевский, Н.М.Тарасова. ЖЭТФ, 55, 386, 1968; Sov. Phys. JETP., 28, 201, 1969.
  - [2] M.G.Drouet et al. Appl. Phys. Lett., 28, 426, 1976; 29, 469, 1976; 31, 647, 1977.
  - [3] W.T.Selvast, L.H.Szeto. Appl. Phys. Lett., 31, 726, 1977; "Природа", №10, 133, 1978.
  - [4] Г.А.Аскаръян, М.С.Рабинович, А.Д.Смирнова, В.Б.Студенов. Письма в ЖЭТФ, 5, 116, 1967; JETP Letters, 5, 93, 1967.
  - [5] J.A. Stamper et al. Phys. Rev. Lett., 26, 1012, 1971.
  - [6] П.Л.Капица. Электроника больших мощностей, М., АН СССР, 1962.
  - [7] "Microwave Power Engineering". Ed. E.Okress. Acad. Press, N.Y. 1968. (Русск. пер. "СВЧ энергетика" под ред. Э.Окресса, М., изд. Мир, 1971.
  - [8] В.А.Ванке, В.А.Лопухин, В.Л.Саввин. Обзор "Проблемы солнечных космических электростанций", УФН, 123, 633, 1977.
  - [9] E.J.Nalos. Proc. IEEE, 66, 276, 1978; "New developments in Electromagnetic Energy Beaming" (Русск. пер. обзора ТИИ ЭР №3, 1978).
-