

### P.32. MILLIMETER-WAVELENGTH RELATIVISTIC MAGNETRON: PROBLEMS OF MICROWAVE POWER EXTRACTION

*N.P. Gadetski, V.G. Korenev, A.N. Lebedenko, I.I. Magda, O.G. Melezhik,  
V.G. Sinitsin, A.A. Shtanko, N.V. Volovenko*

*NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine*

*E-mail: magda@kipt.kharkov.ua*

A problem of importance for high-voltage (relativistic) magnetrons operating at millimeter wavelengths is how to achieve an optimal regime of microwave power extraction from the space of electron beam–RF field interaction. In contrast to decimeter or even centimeter wavelength magnetrons (characterized by larger sizes of their anode-cathode spaces), the millimeter wavelength power **cannot be** efficiently extracted in the **radial** direction via one or several cavities belonging to the slow-wave structure. The reasons are the small volume of the cavity (undersized at the operation frequency, hence demonstrating a high input resistance) and the hazard of appearance of high-voltage breakdowns across the gap. Meanwhile, by introducing into the structure additional elements to enable RF power extraction **along the principal symmetry axis of the magnetron**, the designer faces the hazard of radically changing its electrodynamics. This concerns the generated frequencies, modal content and polarization of the RF fields at the output. In this paper several schemes (and practical implementation thereof) of RF power extraction along the symmetry axis of the magnetron's cylindrical structure are discussed, including a circular ring 'antenna' at the end of the dual-connectivity anode-cathode space, and sets of (admittedly) resonance-length rods at the faces of the anode-block cavities. These solutions have allowed increasing the power extraction efficiency **by 10 to 20 per cent**. The general view of the breadboard magnetron used in the study of microwave power extraction is given in Fig.1. Versions of the electrodynamic structure (EDS) with 30, 40 and 48 resonant cavities were investigated, and the most complete results obtained for the 48-cavity structure (RM-48). Experiments with the RM-48 magnetron revealed microwave generation at 36 to 41 GHz with magnetic induction magnitudes  $B_0=0.35 - 0.8$  T and anode voltages  $U_0=190$  to 250 kV. The oscillations excited could be identified as belonging to the  $\pi/2$ ;  $\pi$ , or  $(2/3)\pi$  modes, **realized as a TE set (field components  $E_\rho$ ,  $E_\varphi$  and  $H_z$ )**. These operation regimes of the magnetron seemed to be in agreement with Hull's cut-off condition, as well as with that of resonant excitation of its EDS by a Brillouin electron flow drifting in crossed **E**- and **H**-fields. **Yet, the net outcome of experiments with the simple outputting structure as just described (with or without a horn) shall be characterized as unsatisfactory**. Indeed, the RF power at the output never exceeded 100 kW, while the e-beam power at the entrance to the EDS was about 400 MW, meaning an **efficiency below 0.1 per cent**. That was in a drastic contrast with the results of experimentation with centimeter wavelength magnetrons which demonstrated efficiencies about 10 per cent [e.g., M.I. Fuks, E. Schamiloglu. *A 70% efficient relativistic magnetron with axial extraction of radiation through a horn antenna. IEEE Trans Plasma Sci*, 2010, vol.38, No 6, p.1302 -1312].

To organize an efficient extraction of microwaves along the magnetron's axis of symmetry **z**, **field components from the TM set ( $H_\rho$ ,  $H_\varphi$  and  $E_z$ )** are also required, such that Poynting vector's axial component could be different from zero,

$$P_z = E_\rho H_\varphi - E_\varphi H_\rho \neq 0.$$

One feasible way for solving the task is to provide **additional structural elements** to direct the microwave radiation into the end guide and further on.

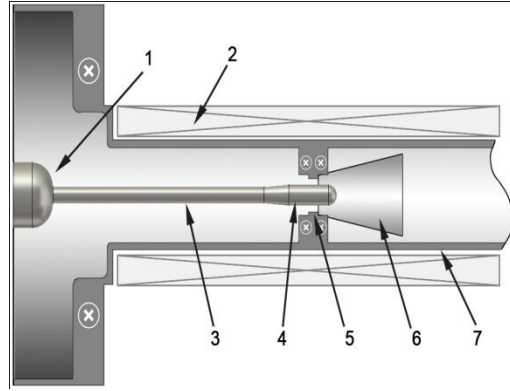


Fig. 1. Schematic of RM-48. 1. Return current collector. 2. Anode. 3. Cathode holder. 4. Cathode. 5. Output horn (optional). 6. Solenoid. 7. Rogowski coil. 8. Shunts of anode and collector currents. 9. Capacitor divider

EDS +structure	$U_{C-A}$ (V)	E-field distribution within waveguide's cross-section	Oscillation spectrum within EDS	Spectrum near waveguide's end	$P_{MW}$ (MW)
EDS+ waveguide, no antennas					<b>0.5</b>
EDS+twelve rods, $l \approx 0.5\lambda$					<b>11.0</b>
EDS with 12 groups of 3 rods: $l=0.25\lambda$ , $0.5\lambda$ , $0.75\lambda$					<b>19.5</b>
EDS+circular ring $dia=54.1mm$					<b>11.7</b>

Fig.2. Characteristics of microwave radiation from model magnetrons, as obtained in numerical experiments for several power extracting elements (anode voltage  $U_0=220$  kV, magnetic field  $H_0=5.7$  kOe, e-beam current  $I=0.7$  kA).

The results of numerical experiments were evaluated taking into account, before all, the depth of high frequency 'modulation' of the pulsed driving waveform (data from a voltage monitor in the anode-cathode gap), process of spoke formation in the SWS, intensity and

spectral width of the output signal and amount of microwave power at the exit from the oversized waveguide.

Also, the microwave radiation from the RM-48 *was investigated experimentally* for EDS versions involving different combinations of antenna rods. Like in the numerical experiments, the rod lengths were varied in steps of  $\lambda/4$ . An additional wire ring element, connected to two adjacent rods, played the part of an efficient loop antenna (see the last line in the Table of Fig.2).

#### РЕЛЯТИВІСТСЬКИЙ МАГНЕТРОН МІЛІМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ: ПИТАННЯ ВИВЕДЕННЯ МІКРОХВИЛЕВОЇ ЕНЕРГІЇ

М.П. Гадецький, В.Г. Коренев, О.М. Лебеденко, І.І. Магда, О.Г. Мележик, В.Г. Сініцин, А.О. Штанько, М.В. Воловенко

ННЦ ХФТІ, Харків, Україна

E-mail: magda@kipt.kharkov.ua

Важливою задачею досліджень й розробки високовольтних (релятивістських) магнетронів, що працюють в міліметровому діапазоні довжин хвиль, є оптимізація рівня виходу мікрохвильової енергії з області взаємодії високочастотного поля з електронним пучком. В приладах міліметрового діапазону виведення високочастотного поля в радіальному напрямку, через один або декілька резонаторів системи уповільнення, вдається вельми проблематичним -- на відміну від дециметрового чи сантиметрового діапазонів. Фізичних причин тому декілька: замалий розмір резонаторної порожнини, що є критичним для хвиль на робочій частоті, що мали б рухатися в радіальному напрямку, а також ризик виникнення високовольтного пробою в об'ємі порожнини. З іншого боку, вводячи в конструкцію приладу додаткові елементи - з метою забезпечити виведення мікрохвиль вздовж основної осі симетрії магнетрону,- дослідник стикається з істотною зміною його електродинамічних характеристик. Це стосується як частот генерації, так і модового складу й поляризації поля мікрохвиль на виході з магнетрону, оскільки вихідний хвилевід стає частиною об'єму, де відбувається власне генерація й подальше виведення хвиль. В даній роботі розглядаються декілька схем (та їх практична реалізація) щодо виведення мікрохвильової енергії вздовж осі симетрії циліндричного магнетрона, а саме підключення на вихідному перерізі двозв'язного анод-катодного проміжку кільцевої «антени» - петлі із струмом, або закріплення металевих штирів (гадано резонансної довжини) поблизу резонаторних порожнин системи уповільнення. На практиці такі технічні рішення дозволили **підняти ефективність виведення надвисокочастотних хвиль на 10...20 відсотків.**