

К вопросу повышения мощности СВЧ излучения фотоэлектрической СКЭС

Н. В. Ломтев, Т. О. Мысливцев, В. Ф. Павский
Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского
e-mail vka@mil.ru

Аннотация. A method for increasing the power level of the microwave radiation of a photovoltaic solar space power station (SCPP) made according to the combination scheme is considered. The principal feature of the system is the equality of the areas of the radiating aperture and the solar battery, which determines the interdependence of the radiation power value and the angle of the AFAR radiation pattern (DN) solution and limits the level of radiation power at a constant angle of the DN solution. The goal is achieved by using a low-potential solar radiation concentrator in the form of a cone-shaped focon with a linear generator, which allows for sufficient uniformity of illumination of the beam-receiving surface of the FEP when the solar radiation density increases.

Ключевые слова: active phased array antenna; active microwave modules; radiation pattern; microwave radiation; solar battery; photoelectric Converter; structural and alignment parameters; focon

Освоение космоса с целью его использования для решения задач различного характера за пределами земной атмосферы во многом определяется энерговооруженностью космических аппаратов и станций, одной из составляющих которой может служить мощное направленное управляемое СВЧ излучение, используемое, например, для независимого энергопитания радиоэлектронных средств. Источниками такого СВЧ излучения могут служить фотоэлектрические солнечные космические энергостанции СКЭС [1,3,4], построенные на основе активных фазированных антенных решеток АФАР, преобразующих энергию солнечного излучения, используемую для электропитания ансамбля идентичных активных полупроводниковых модулей антенной решетки, в управляемое мощное СВЧ излучение.

С точки зрения осуществления электропитания активных модулей АФАР СКЭС в известных предложенных и разработанных технических проектах [1] станций рассматриваются две конструктивно-компоновочные схемы размещения панелей солнечных батарей СБ, вырабатывающих энергию электропитания модулей. В первой схеме излучающая апертура АФАР разнесена в пространстве с лучевоспринимающей поверхностью панели СБ; во второй, так называемой совмещенной схеме, названной САФАР (Солнечная АФАР) [2,3] – АФАР и СБ объединены в единую конструкцию и СБ размещается в АФАР на противоположной по отношению к апертуре стороне антенны. СБ во второй схеме состоит из ансамбля идентичных фотоэлектрических преобразователей ФЭП,

входящих в состав парциальных полупроводниковых активных модулей. Потенциально САФАР по отношению к СКЭС, выполненной по первой схеме, дает возможность улучшить массо-энергетические показатели станции за счет значительного упрощения системы электропитания генераторных СВЧ приборов путем уменьшения количества преобразователей тока и напряжения, исключения достаточно тяжелых коммутационных линий и регулирующей аппаратуры, снижения потерь в них, сокращения числа конструктивных элементов, повысить пространственную стабильность диаграммы направленности излучения, за счет практически полной развязки генераторно-излучающих систем по цепям электропитания и пр. Кроме того, конструктивное объединение элементов и функциональных узлов позволяет повысить стойкость системы к воздействию повреждающих факторов космического пространства за счет общей защиты и осуществления взаимной компенсации отклонений рабочих режимов ФЭП и других элементов САФАР при изменении температуры, воздействии радиации и прочих факторов. Принципиальными особенностями САФАР является наличие плоских отражающих гелиостатов, предназначенных для слежения за Солнцем и направления солнечного излучения независимо от пространственной ориентации САФАР ортогонально активной поверхности СБ, а также равенство площадей излучающей апертуры и солнечной батареи, обуславливающей взаимозависимость величины мощности излучения и угла раствора диаграммы направленности ДН излучения АФАР. Последнее при неизменном угле раствора ДН ограничивает максимально возможный уровень мощности СВЧ излучения станции. Повысить этот уровень при неизменной плотности потока солнечного излучения можно за счет улучшения энергетических показателей активных и пассивных элементов функциональных узлов САФАР или при прочих одинаковых условиях путем повышения плотности солнечного потока, падающего на лучевоспринимающие поверхности ФЭП активных модулей за счет применения концентраторов солнечного излучения КСИ. Для фотоэлектрических преобразователей с точки зрения тепловых нагрузок целесообразно использовать так называемые низкопотенциальные КСИ с коэффициентом концентрации излучения меньше десяти [1]. Одним из требований к конструкции КСИ является степень равномерности распределения плотности сконцентрированного излучения на поверхности ФЭП. Применительно к САФАР в наилучшей степени этому требованию удовлетворяет низкопотенциальный КСИ в

виде фокона с линейной образующей. Схема фокона с однократным отражением применительно к САФАР показана на рис. 1 (гелиостаты на рисунке опущены), где величина φ – угол падения отраженного концентратором с образующими линиями 1 солнечного луча с фронтом 4 на плоскость 2 парциальных ФЭП; l_k – длина образующей; d_Σ – диаметр излучающей апертуры; l_1 – проекция l_k на плоскость апертуры. Из рисунка следует, что на плоскость ФЭП падают солнечные лучи непосредственно (ортогонально) и отраженные под углом φ .

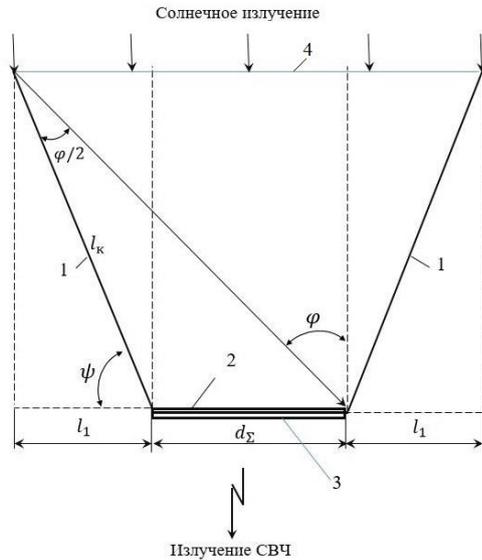


Рис. 1. САФАР с КСИ: 1 – образующие линии отражателя; 2 – плоскость ФЭП; 3 – АФАР

Площадь САФАР, освещаемая ортогонально, составляет $S_\Sigma = \pi d_\Sigma^2 / 4$, а относительная величина площади, через которую солнечные лучи проходят ортогонально, а затем отражаются КСИ в направлении ФЭП, определяется величиной $l_1 / d_\Sigma = \cos \varphi$ и равна $\Delta S / d_\Sigma^2 = \pi \cos \varphi (1 + \cos \varphi)$.

Для определения мощности СВЧ излучения САФАР с КСИ с целью упрощения расчетов и на основе экспериментальных данных будем полагать, что в общем случае зависимость КПД ФЭП $\eta_\phi(\varphi)$ имеет вид $\eta_\phi(\varphi) = \eta_{\phi_0} \cos \varphi$, где η_{ϕ_0} – КПД ФЭП при ортогональном падении излучения ($\varphi = 0$). Тогда мощность СВЧ излучения САФАР с КСИ $P_{\Sigma\varphi}$, отнесенная к мощности излучения без КСИ P_{Σ_0} , составит величину $P_{\Sigma\varphi} / P_{\Sigma_0} = [1 + 4\eta_{\text{КСИ}} \cos^2 \varphi (1 + \cos \varphi)]$, где $\eta_{\text{КСИ}}$ – КПД отражателя концентратора. График зависимости $P_{\Sigma\varphi} / P_{\Sigma_0}$ от угла φ при коэффициенте $\eta_{\text{КСИ}} = 1$ показан рис.2. Конструктивно-компановочные параметры КСИ – угол наклона образующей к плоскости ансамбля ФЭП ψ и длина образующей l_k в соответствии с (рис.1) находятся из соотношений $\psi = 0,5(\pi - \varphi)$ и $l_k / d_\Sigma = \cos \varphi / \sin 0,5 \varphi$. График зависимости последней от угла φ приведен на рис. 2. На рис. 2 показаны также графики зависимостей от угла φ , характеризующие интенсивность изменения

величин $P_{\Sigma\varphi} / P_{\Sigma_0}$ и l_k / d_Σ при изменении угла φ , производных $(P_{\Sigma\varphi} / P_{\Sigma_0})' = -d(P_{\Sigma\varphi} / P_{\Sigma_0}) / d\varphi = 4 \sin 2 \varphi (1 + 1,5 \cos \varphi)$ и $(l_k / d_\Sigma)' = -d(l_k / d_\Sigma) / d\varphi = (\sin \varphi \sin 0,5 \varphi + 0,5 \cos \varphi \cos 0,5 \varphi) \sin^{-2} 0,5 \varphi$.

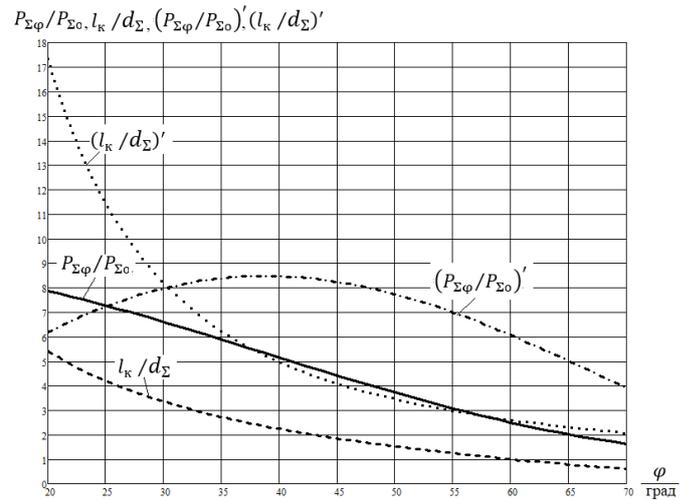


Рис. 2. Зависимость величин $P_{\Sigma\varphi} / P_{\Sigma_0}$, l_k / d_Σ и их производных $(l_k / d_\Sigma)'$, $(P_{\Sigma\varphi} / P_{\Sigma_0})'$ от угла φ

Полученные выше данные, устанавливающие связь конструктивно-компановочных параметров КСИ с энергетическими параметрами САФАР, позволяют оценить в зависимости от заданных технических требований к станции возможности применения КСИ для наращивания излучаемой мощности СВЧ колебаний. При этом следует иметь в виду, что при угле $\varphi \approx 30^\circ$ производная $(l_k / d_\Sigma)' = (P_{\Sigma\varphi} / P_{\Sigma_0})'$ и с уменьшением угла φ величина производной $(l_k / d_\Sigma)'$ возрастает, а производной $(P_{\Sigma\varphi} / P_{\Sigma_0})'$ снижается. Это свидетельствует о том, что в этом случае прирост мощности СВЧ излучения достигается за счет значительного увеличения длины l_k образующей фокона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Гриликес В.А. Космические солнечные энергостанции. Л.: Наука, 1986. 182 с.
- [2] Бакурский К.В., Мысливцев Т.О., Невзоров В.И., Павский В.Ф. Особенности частотной синхронизации крупногабаритной активной фазированной антенной решетки космического базирования // Труды Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского. 2018. Вып. 660. с. 134–141.
- [3] Ardzhanov A.S., Grilikhes., Mironenko I.G., Pavsky V.F., Ryzhkova L.V. and Torokhov B.V. Combined semiconductor system for direct conversion of solar into controlled microwave emission. In "Solar Power Satellites: the emerging energy option". Ed. By P. Glaser. EllisHorwood, New-York, 1993.