

АО "Радиант-ЭК"



Елизаров А.С.
Инженер проектов

Доклад на тему:

**"Применение симметричных излучающих линий
для эффективной генерации низкочастотных
электромагнитных полей"**

Конференция "ЭМС 2021"
28.05.2021

Элементы формирования электрического поля при испытаниях на устойчивость к излучаемым помехам

?



2 МГц

26 МГц

80 МГц

2,5 ГГц

6 ГГц

18 ГГц

40 ГГц

ГОСТ Р ИСО 7176-21-2015

МЭК 61000-4-3

ISO 11452-2

ГОСТ РВ 6601-001-2008 ВИ1

MIL-STD 461G RS103

* ГОСТ Р 53391-2009
(ЕН 13309:2000)
20 – 1000 МГц

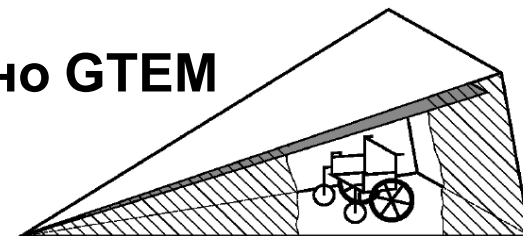
Какие излучающие антенны предлагают стандарты на «нижний» диапазон?

ГОСТ Р ИСО 7176-21-2015

Нет рекомендаций, альтернативно GTEM

MIL-STD 461G RS103

Нет рекомендаций



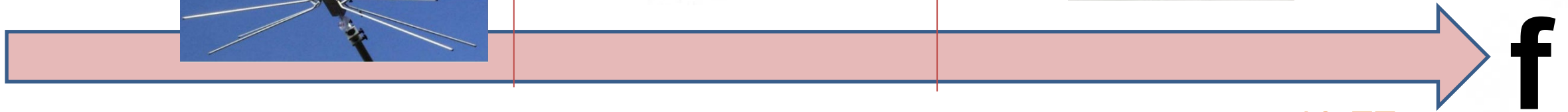
ГОСТ РВ 6601-001-2008 ВИ1

4 Передающая измерительная антенна в диапазоне частот:
ТЕМ-камера, МГц

биконическая, МГц
логопериодическая, МГц
рупорная, ГГц

От 2 до частоты первого
объемного резонанса f_1
Св. 20 до 200 включ.
Св. 200 до 1000 включ.
Св. 1 до 18 включ.

Элементы формирования электрического поля при испытаниях на устойчивость к излучаемым помехам



2 МГц

26 МГц

80 МГц

2,5 ГГц

6 ГГц

18 ГГц

40 ГГц

ГОСТ Р ИСО 7176-21-2015

МЭК 61000-4-3

ISO 11452-2*

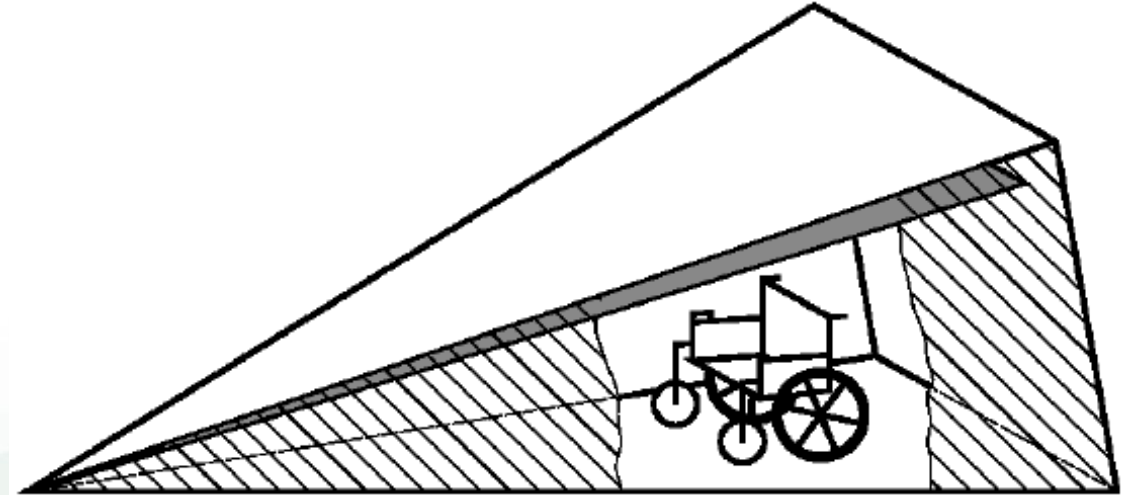
ГОСТ РВ 6601-001-2008 ВИ1

MIL-STD 461G RS103

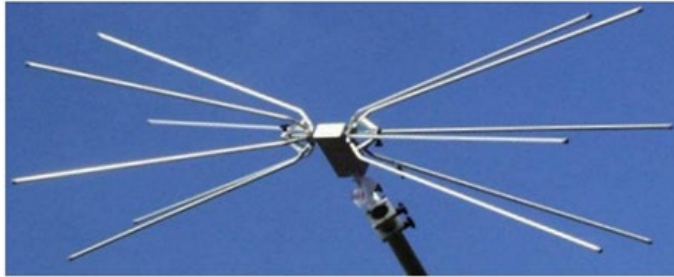
* ГОСТ Р 53391-2009
(ЕН 13309:2000)
20 – 1000 МГц

ТЕМ и GTEM камеры

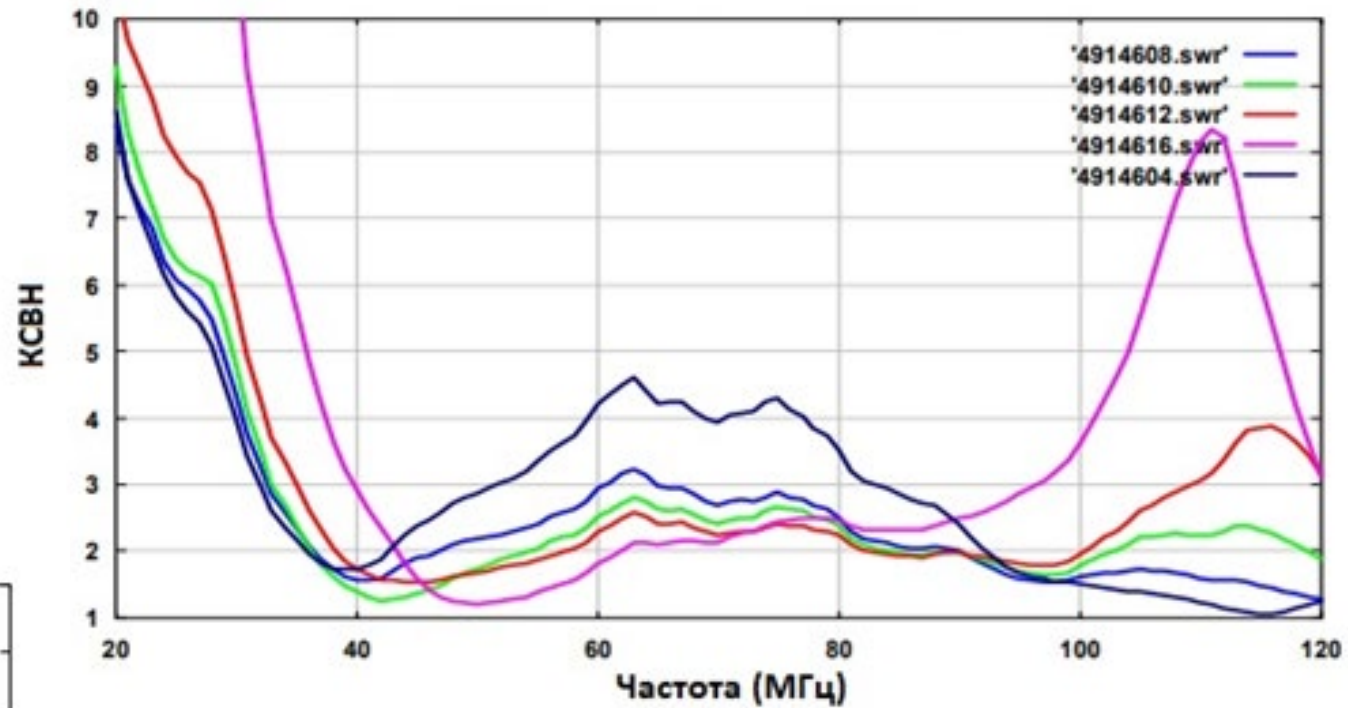
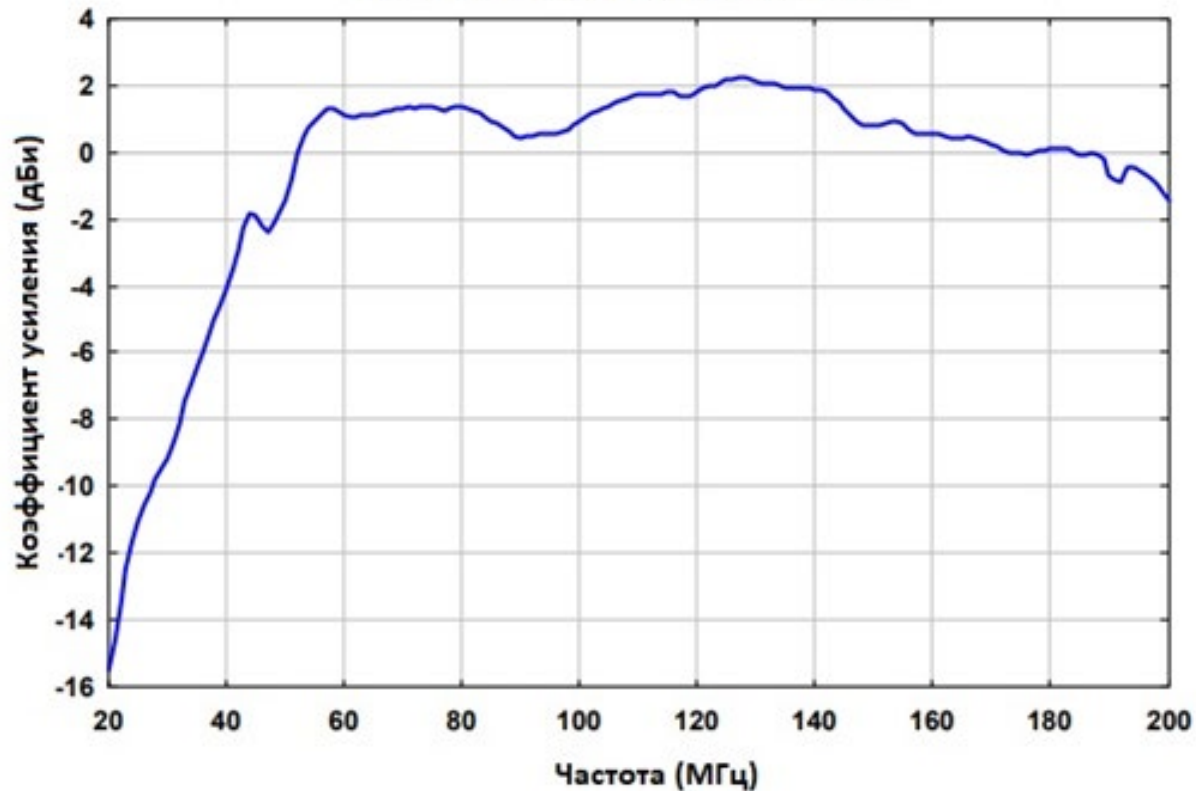
- + меньшая мощность усилителя
- + экономия пространства
- + простота конструкции
- + стоимость
- ограниченные габариты ИТС
(бОльшие габариты = бОльшая мощность)
- не решает проблему измерения эмиссии



Биконические антенны



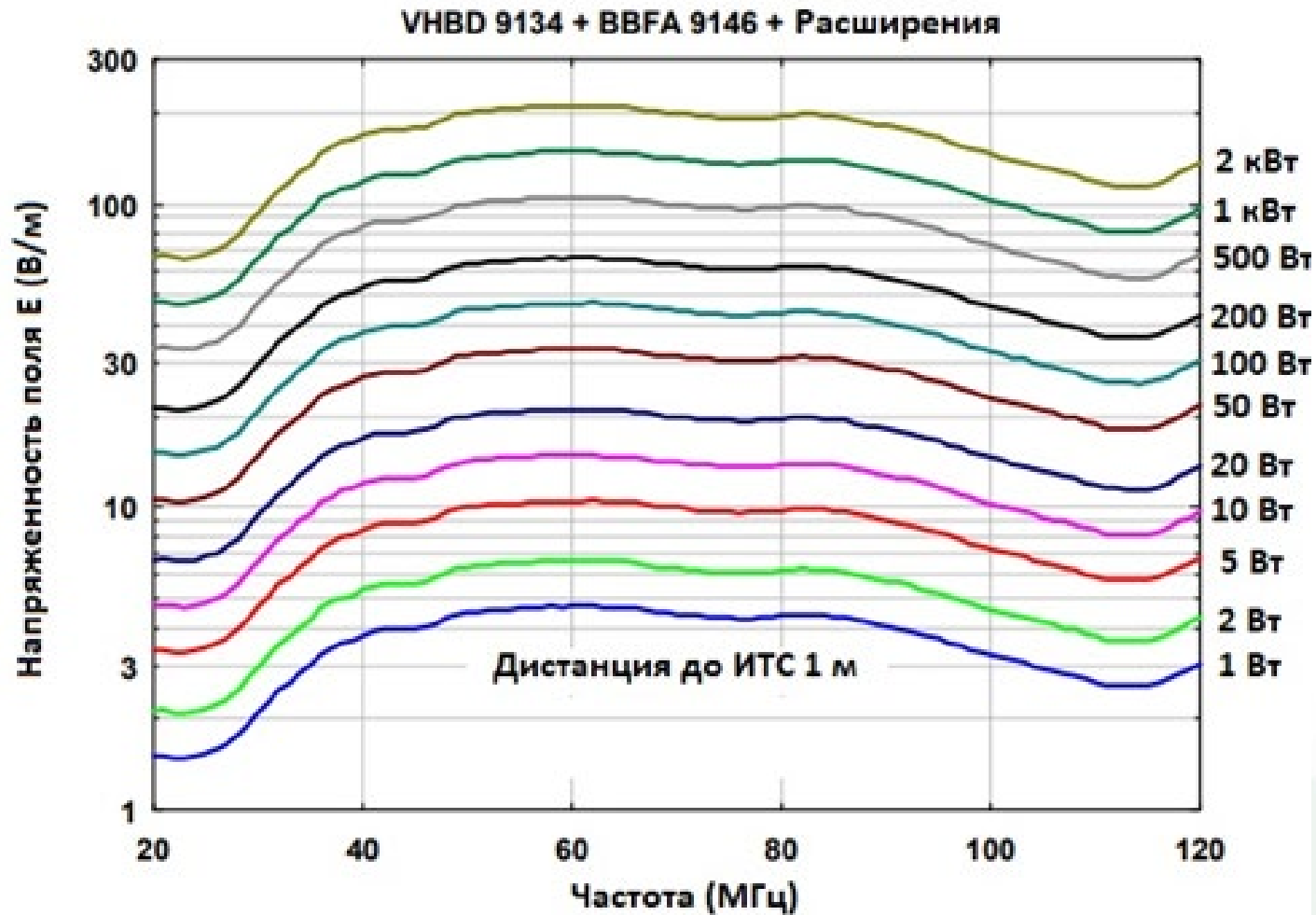
VHBD 9134 + BBFA 9146 + Расширения



- КУ ниже 0 дБи на частотах ниже 50 МГц
- Макс КУ – 1..2 дБи
- мин. КСВН в диапазоне - около 5
- КСВН на частотах ниже 40 МГц – рост

Биконические антенны

- + малые габариты и вес
- минимальный КУ - крайне малая энергоэффективность
- высокий КСВН - требует усилителя класса А
- нижняя граница – десятки МГц



Элементы формирования электрического поля при испытаниях на устойчивость к излучаемым помехам

?



2 МГц

26 МГц

80 МГц

2,5 ГГц

6 ГГц

18 ГГц

40 ГГц

ГОСТ Р ИСО 7176-21-2015

МЭК 61000-4-3

ISO 11452-2

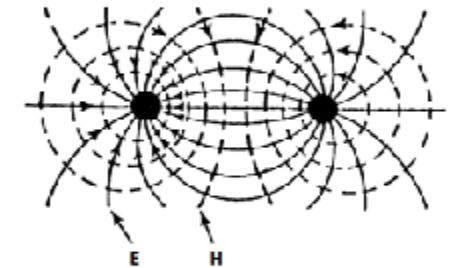
ГОСТ РВ 6601-001-2008 ВИ1

MIL-STD 461G RS103

* ГОСТ Р 53391-2009
(ЕН 13309:2000)
20 – 1000 МГц

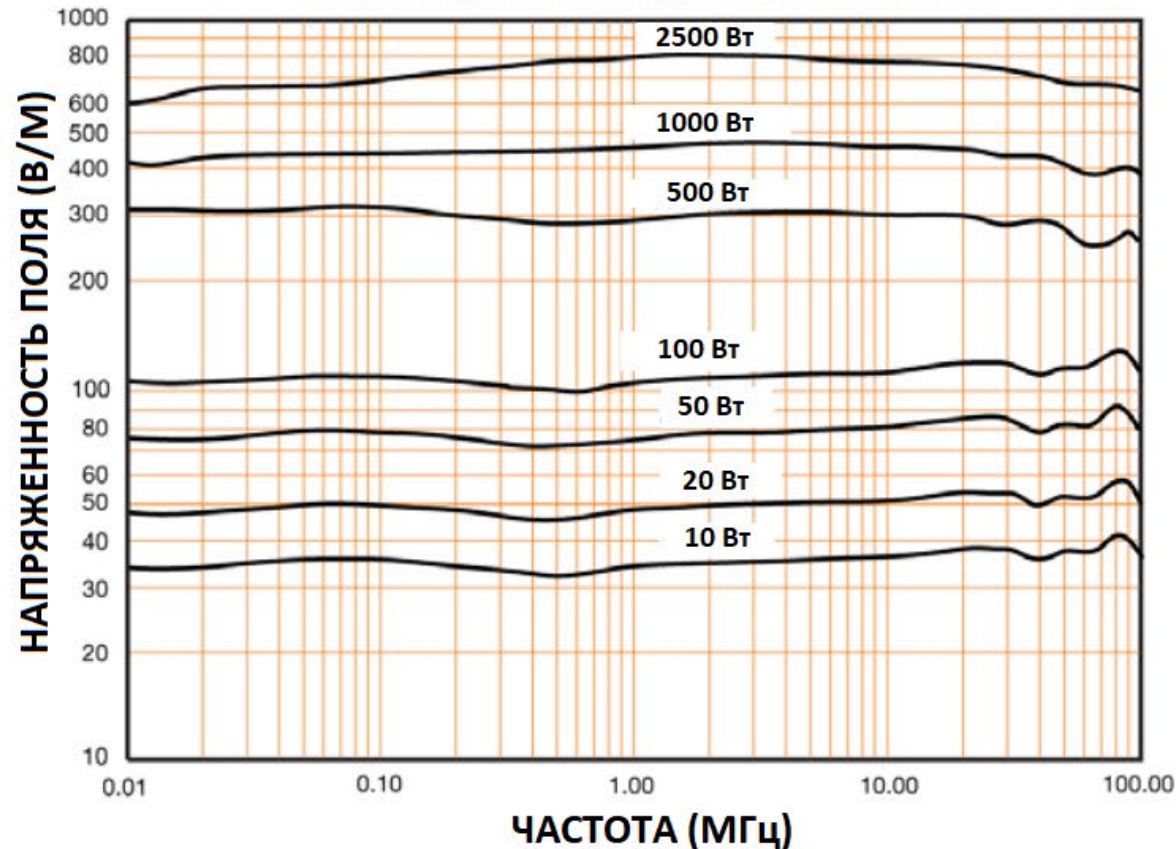
Симметричные излучающие линии для генерации электрических полей на примере модели АТР10К100М производства компании Amplifier Research (США).

- + частотный диапазон работы:
от 10 кГц до 100 МГц
- + макс.входная мощность – 3 кВт
- + габариты: 120 x 240 x 17 см
- + макс.КСВН: 2.0:1 (согласование с импедансом свободного пространства 377 Ом)
- + малый вес
- + высокая мобильность и компактность, исполнения со штативами

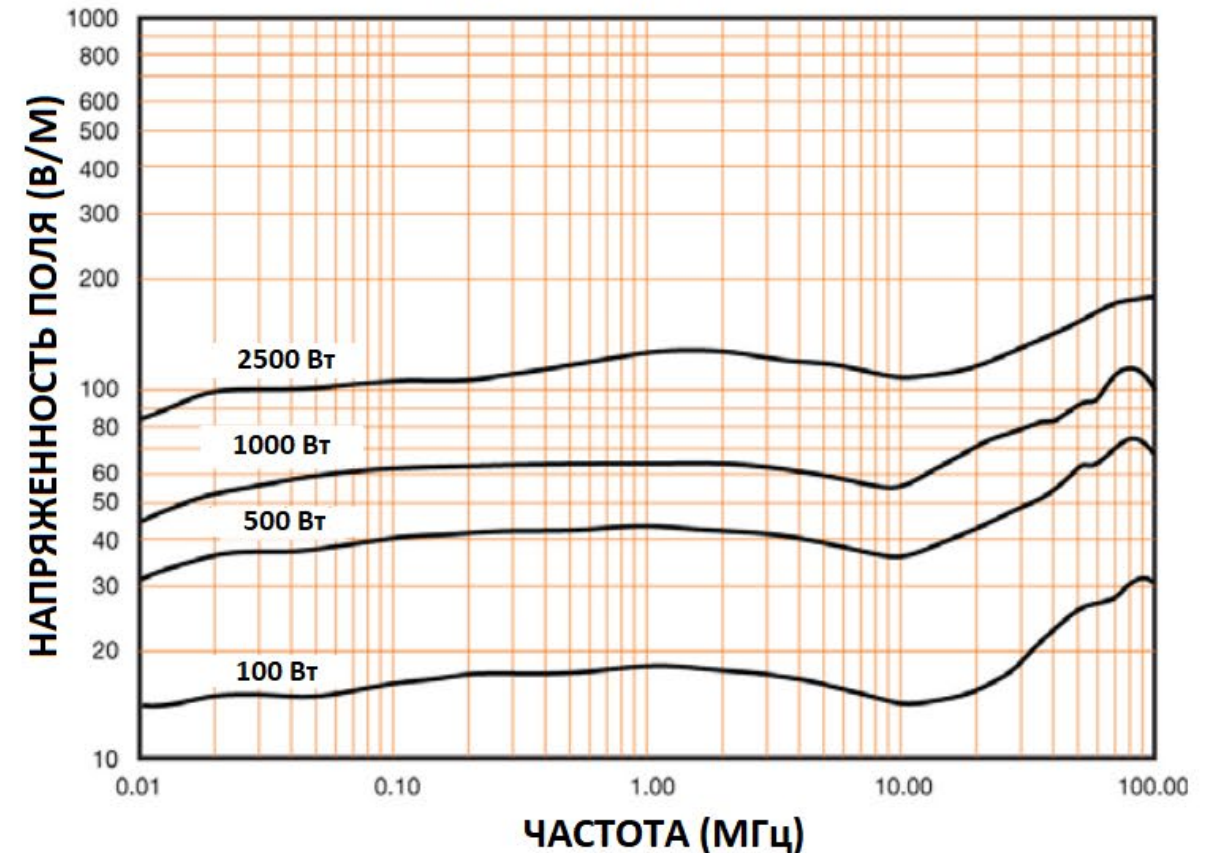


Графики напряженности генерируемого электрического поля

Размещение между элементами



Размещение на расстоянии 1м



- + напряженность более 600 В/м между элементами
- + напряженность более 80 В/м на расстоянии 1м
- * При входной мощности 2.5 кВт

ГОСТ РВ 6601-001-2008 ВИ1, 2-100 МГц, 200 В/м, ИМ, между излучателями, поляризация горизонтальная

Частота, МГц	Напряженность, В/м	Мощность, прямая, Вт	КСВН	Мощность отраженная, дБм	Уровень генератора, дБм
2,000000	203,24	325,657	1,288	37,1	-9,6
2,400000	203,30	325,335	1,285	37,0	-10,1
2,880000	203,33	324,655	1,281	36,9	-10,5
3,456000	203,51	324,781	1,276	36,8	-10,9
4,147200	203,55	324,542	1,271	36,6	-11,4
4,976640	198,73	310,647	1,266	36,3	-11,8
5,971968	203,34	324,387	1,263	36,4	-11,7
7,166362	201,93	320,799	1,266	36,5	-11,5
8,599634	202,86	324,655	1,289	37,1	-10,9
10,319561	203,10	329,232	1,349	38,6	-10,4
12,383473	201,13	332,653	1,457	40,6	-10,2
14,860167	202,37	353,971	1,591	42,7	-9,8
17,832201	202,65	373,801	1,643	43,5	-9,4
21,398641	201,71	376,866	1,498	41,8	-10,7
25,678369	203,08	417,358	1,294	38,4	-9,4
30,814043	199,76	458,585	1,324	39,5	-9,2
36,976852	202,62	535,561	1,128	32,9	-7,5
44,372222	203,83	554,694	1,460	42,9	-7,4
53,246667	199,67	590,389	1,497	43,7	-7,8
63,896000	203,61	592,657	1,310	40,3	-7,6
76,675200	203,00	451,906	1,438	41,6	-7,7
92,010240	202,64	395,196	1,685	44,1	-8,1
100,000000	202,79	580,953	2,659	50,8	-6,4

+ макс.мощность на входе на частотах 10 кГц – ~20 МГц

= 400 Вт

+ макс.мощность на входе на частотах 20 МГц – 100 МГц

= 600 Вт

+ КСВН до частот ~90 МГц менее 1.5:1

+ КСВН на частоте 100 МГц менее 3:1

ГОСТ РВ 6601-001-2008 ВИ1, 2-100 МГц, 200 В/м, ИМ, между излучателями, поляризация вертикальная

Частота, МГц	Напряженность, В/м	Мощность, прямая, Вт	КСВН	Мощность отраженная, дБм	Уровень генератора, дБм
2,000000	200,09	232,138	1,290	34,9	-11,9
2,400000	199,96	231,748	1,284	34,7	-12,3
2,880000	201,41	228,412	1,276	34,6	-12,7
3,456000	201,02	229,630	1,267	34,3	-13,1
4,147200	202,44	232,876	1,257	34,1	-13,5
4,976640	202,91	222,396	1,245	33,7	-13,7
5,971968	203,10	233,323	1,233	33,4	-13,7
7,166362	201,86	230,120	1,228	33,1	-13,5
8,599634	202,65	230,456	1,239	33,5	-13,0
10,319561	203,10	226,479	1,285	34,9	-12,6
12,383473	201,77	227,485	1,374	37,0	-12,4
14,860167	198,83	231,230	1,497	39,0	-12,2
17,832201	203,07	234,314	1,567	40,3	-11,7
21,398641	205,60	244,187	1,465	39,1	-12,7
25,678369	203,81	255,649	1,235	34,1	-12,0
30,814043	199,42	270,451	1,264	35,3	-11,8
36,976852	203,63	284,206	1,133	30,3	-10,4
44,372222	203,35	316,685	1,286	36,7	-9,6
53,246667	199,55	408,403	1,506	41,1	-10,6
63,896000	203,16	514,738	1,330	37,7	-10,7
76,675200	202,49	446,752	1,270	35,5	-10,1
92,010240	203,40	294,694	1,716	42,7	-10,0
100,000000	201,36	370,132	2,704	49,7	-7,5

+ макс.мощность на входе на частотах 10 кГц – ~20 МГц

= **300 Вт**

+ макс.мощность на входе на частотах 20 МГц – 100 МГц

= **520 Вт**

+ КСВН до частот ~90 МГц менее **1.5:1**

+ КСВН на частоте 100 МГц менее **3:1**

ВЫВОДЫ

(цикл испытаний ГОСТ РВ 6601-001-2008 ВИ1, 2-100 МГц, 200 В/м)

+ **требуемая мощность усилителя (обе поляризации) – 600 Вт CW**

Заметное влияние переотражений от пола и объектов камеры при горизонтальном размещении линии

+ **КСВН в рабочем диапазоне – менее 3.0:1**

Возможность использования усилителя класса АВ во всем частотном диапазоне

Цикл испытаний во ФГУП «ВНИИИИМТ» Росздравнадзора

ISO 14708

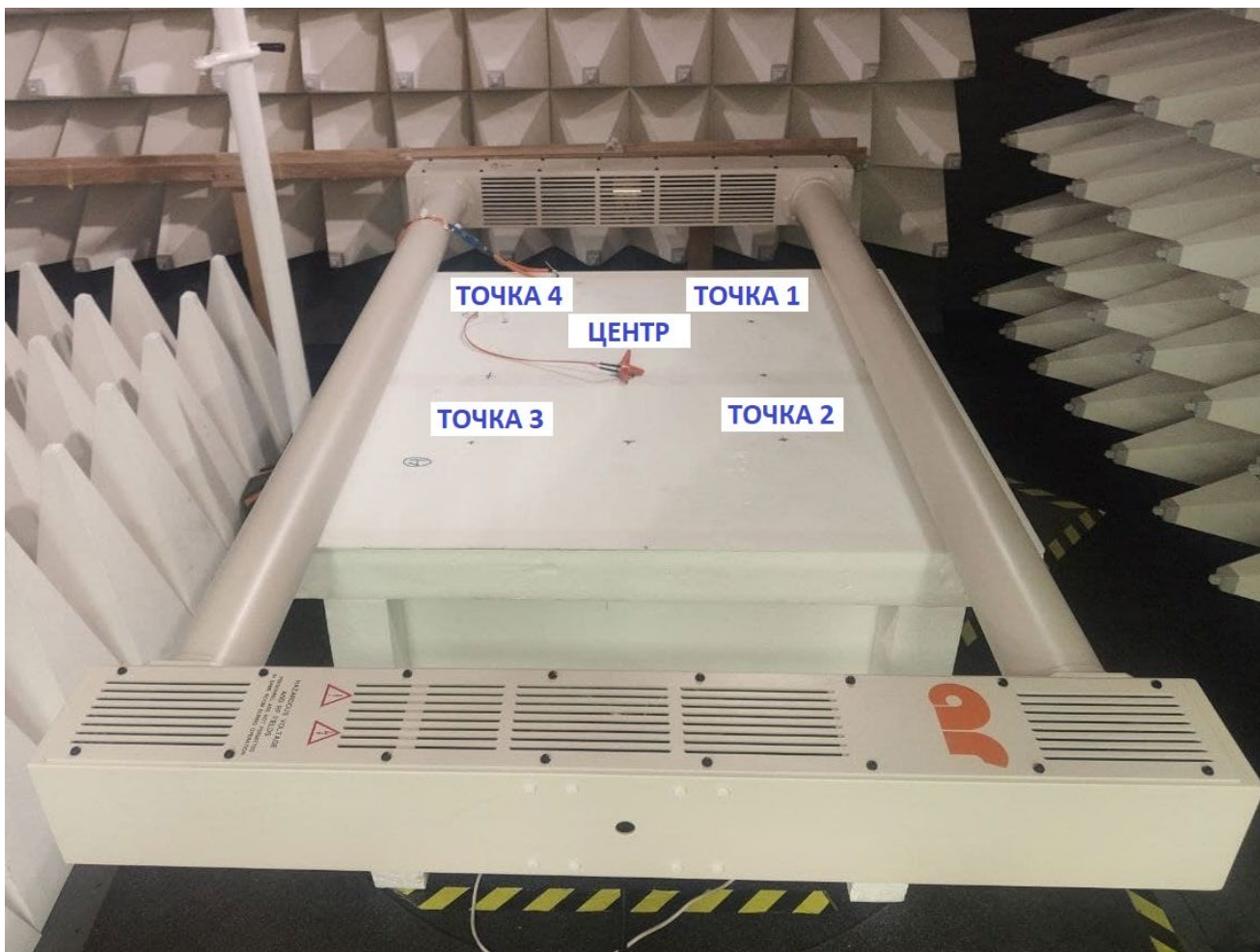
- Частотный диапазон: 100 кГц* – 100 МГц
- Напряженность: 140 В/м
- Импульсная модуляция
- Размещение между элементами
- Плоскость 55 x 55 см

ГОСТ Р ИСО 7176-21-2015

- Частотный диапазон: 26 – 100 МГц
- Напряженность: 20 В/м
- Амплитудная модуляция 80%
- Расстояние 1м

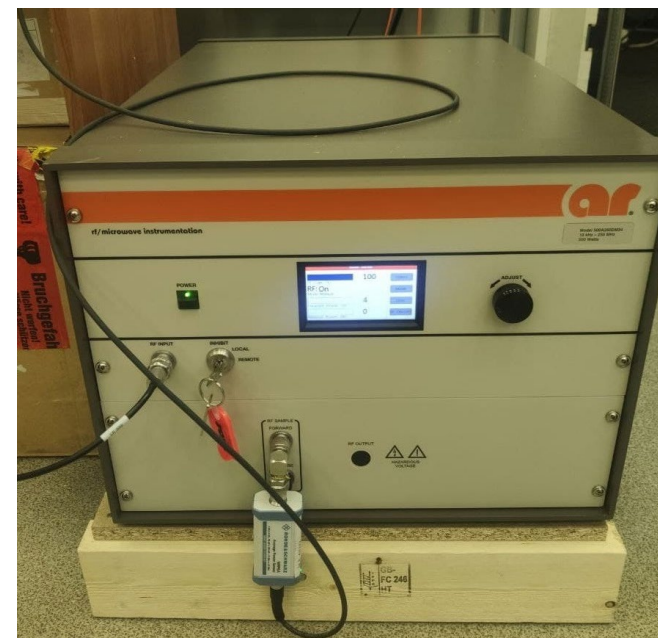
Испытательная установка (полный БЭК)

Излучающая симметричная линия Amplifier Research ATP10K100M



Измерительный пробник поля Amplifier Research FL7006

- Частотный диапазон: 100кГц – 6 ГГц
- Лазерное питание по оптическому каналу



Усилитель Amplifier Research 500A250D

- Частотный диапазон: 10 кГц - 250 МГц
- Номинальная мощность 500 Вт
- Класс A

100 кГц - 100 МГц, 140 В/м, ИМ, между излучателями, поляризация горизонтальная, 55х55 см, 3дБ

Частота, МГц	Уровень генератора, дБм	Мощность усилителя, Вт	Напряженность в точке, В/м				
			Центр	1	2	3	4
0,1	-10	135	140	181	158	125	140
0,3	-9,2	138	141	175	164	129	137
1	-10,2	132	140	180	169	142	149
3	-10,4	141	139	180	163	162	168
10	-11,2	143	140	173	168	168	185
30	-9,8	163	140	166	155	153	159
100	-8,4	168	141	133	122	131	135

- + максимальная мощность на входе = **168 Вт**
- + минимальная напряженность в плоскости 55х55см: **122 В/м**
- + максимальная напряженность в плоскости 55х55см: **185 В/м**
- + неравномерность поля в пределах **3 дБ**

100 кГц - 100 МГц, ИМ, расстояние 50 см, поляризация горизонтальная, 55x55 см, 3дБ

Частота, МГц	Уровень генератора, дБм	Мощность усилителя, Вт	Напряженность в точке, В/м				
			Центр	1	2	3	4
0,1	-2,9	574	133	150	154	118	127
0,3	-2,9	492	126	147	150	120	122
1	-2,9	472	124	139	143	143	123
3	-2,9	611	133	134	143	143	143
10	-2,9	584	142	125	134	134	134
30	-2,9	560	125	115	135	135	131
100	-2,9	490	128	127	125	130	138

- + минимальная мощность насыщения на входе = **472 Вт**
- + максимальная мощность насыщения на входе = **611 Вт**

- + минимальная напряженность в плоскости 55x55см на расстоянии 50 см: **118 В/м**
- + максимальная напряженность в плоскости 55x55см на расстоянии 50 см: : **150 В/м**

100 кГц - 100 МГц, ИМ, расстояние 100 см, поляризация горизонтальная, 55x55 см, 3дБ

Частота, МГц	Уровень генератора, дБм	Мощность усилителя, Вт	Напряженность в точке, В/м				
			Центр	1	2	3	4
0,1	-2,9	592	46	51,6	51,9	38,3	37,3
0,3	-2,9	489	46,4	57,2	52,1	39,1	38,5
1	-2,9	470	43,8	48,4	47,9	39	38,3
3	-2,9	610	42	42,2	41,1	41,5	41,1
10	-2,9	580	39	31,2	38,2	39,5	38,2
30	-2,9	602	64,4	60,7	67,7	69	58,1
100	-2,9	491	62	76	50	49,5	74,1

- + минимальная мощность насыщения на входе = **470 Вт**
- + максимальная мощность насыщения на входе = **610 Вт**

- + минимальная напряженность в плоскости 55x55см на расстоянии 100 см: **37,3 В/м**
- + максимальная напряженность в плоскости 55x55см на расстоянии 100 см: : **76 В/м**

Заключение



RADIANT

- ✓ Симметричная излучающая линия – **энергоэффективное** решение для использования в системах для испытаний на устойчивость к излучаемым электромагнитным помехам **в БЭК**
- ✓ Экономия на мощности и классе используемого усилителя (вследствие малого КСВН) – **600 Вт** для обеспечения **200 В/м** (согласно ГОСТ РВ 6601-001-2008) при размещении в полуБЭК
- ✓ Возможность тестирования ИТС с максимальными габаритами порядка **200 x 90 см**
- ✓ Компактная легкая конструкция, исполнение со штативом с регулировкой по высоте и наклону
- ✓ Измеренная неравномерность поля в пределах 3 дБ в полном БЭК в плоскости 50x50 см
- ✓ Рекомендуется размещение антенны в центре камеры на значительном удалении от пола и других отражающих поверхностей
- ✓ ГК «Радиант» – эксклюзивный представитель Amplifier Research на территории РФ

Спасибо!