

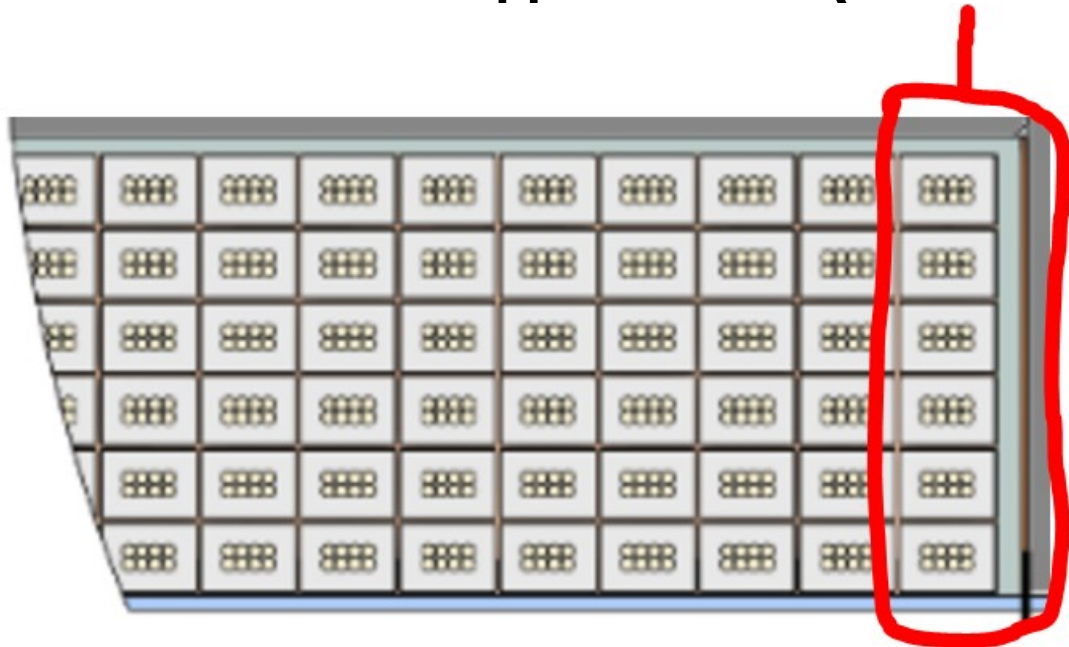
DRAFT 18.07.2021 v.2
Анализ магнитного поля
ВОЗМОЖНЫХ конфигураций
SPD MS 3x Solenoid coils (PANDA)

Магнитные силы
SPD 2021

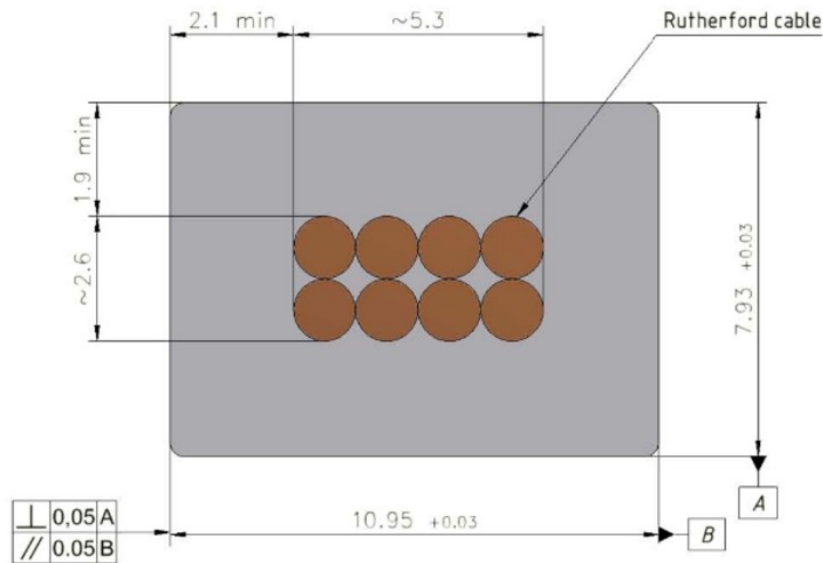
Мошковский И.В. 2021

Исходные данные Структура катушек.

Виток соленоида PANDA (6 слоев)



Кабель PANDA



10,95 мм x 7,93 мм,
NbTi / Cu d=1,4 мм

Исходные данные

Структура катушек. Table 0 — Calculations.

SPD CDR 2020				
1	1 Coil Amp Turns	800000	AxT	CDR SPD 2020
2	Full Amp 6 Turns	4800000	AxT	Calculated
PANDA				
3	Full Amp Turns	5680000	AxT	TDR PANDA
4	Coils	191	pcs	TDR PANDA
5	Coil Amp Turns	29738,2198953	AxT	Calculated
6	Turns cable per Coil	6	pcs	TDR PANDA
7	Turn Amp	4956,36998255	A	Calculated/TDR PANDA
SPD 3 solenoidal coils 2021				
8	1 turn 1 layer with	4800000/4956=		TDR PANDA /CDR SPD
	PANDA cable	968,450704225	pcs	Calculated
9	Layers per coil	4	pcs	Calculated (table 1)
10	Coils calculated	242,112676056	pcs	Calculated
11	Coils project	240	pcs	Rounded
12	1 turn cable Panda	4800000/240/4	AxT	Calculated
		5000	AxT	
13	Coil 4 Layer cable	20000	AxT	Calculated

Исходные данные Структура катушек.

Table 1. Total solenoid magnet size for 240 turns of PANDA cable

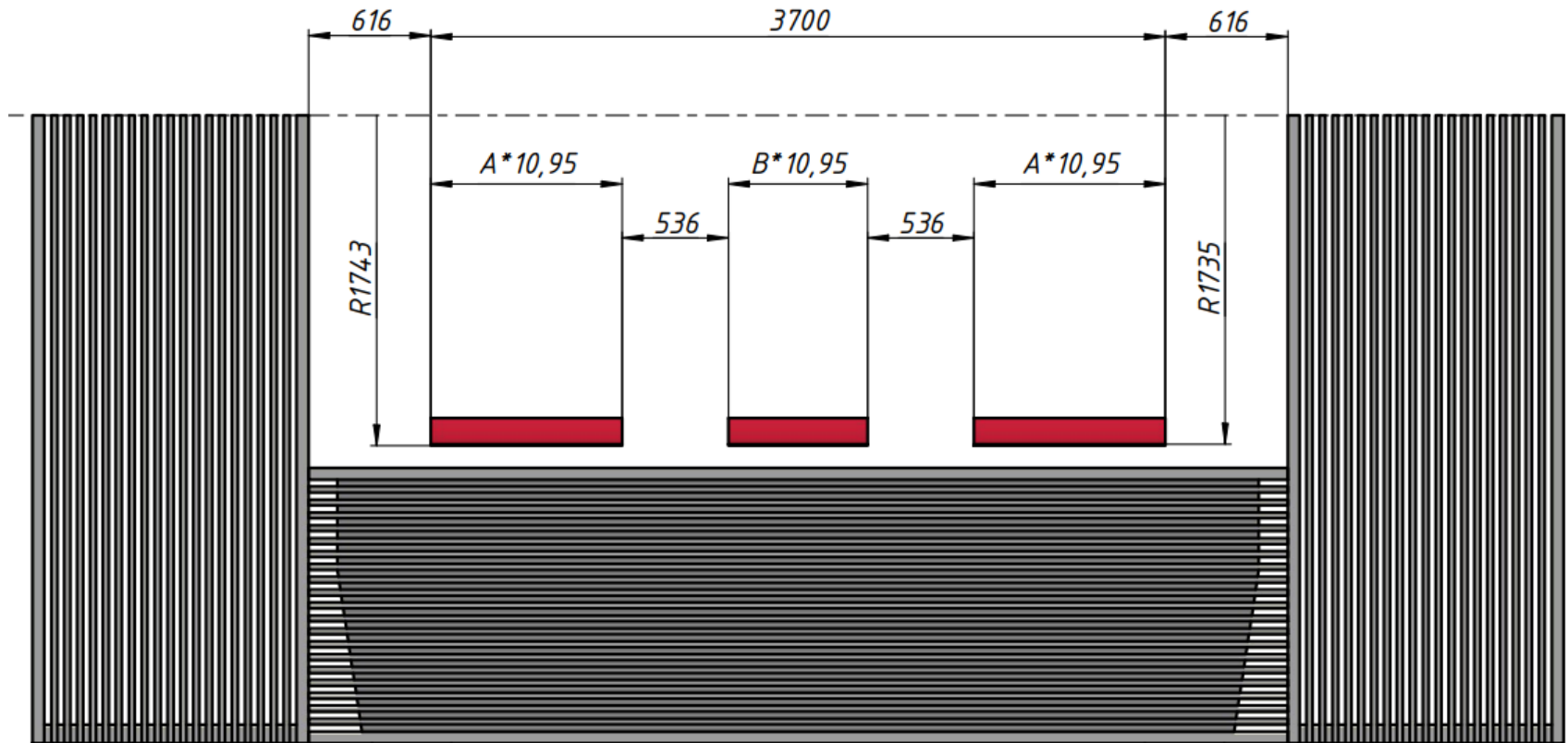
Layers	1	2	3	4	5	6				
zL Full sol, m	10,6	5,302	3,535	2,651	2,121	1,767	<3,7 м доступно по Z			
R Thickness, m	0,008	0,016	0,024	0,032	0,04	0,048	для R меньше — лучше			

Исходные данные Структура катушек.

1. Ампер x Витки вся MS, $A \times Turn$: 4 800 000
2. Соленоидальные катушки, шт.: 3
3. Сечение кабеля ШxВ, мм: 10,95x7,93
4. Ток в кабеле, $A \times Turn$: 5 000
5. Слоев кабеля в витке, шт.: 4
6. Ток в витке из 4х слоев, $A \times Turn$: 20 000
7. Витков в 3х соленоидах, шт.: 240
8. Рассмотренный диапазон витков в катушках
Катушка 1, витков: А = от 120, до 80
Катушка 2, витков: Б = от 0, до 80
Катушка 3, витков: А = от 120, до 80

Размеры магнитной системы

Рисунок 0. Схема соленоидальных катушек.



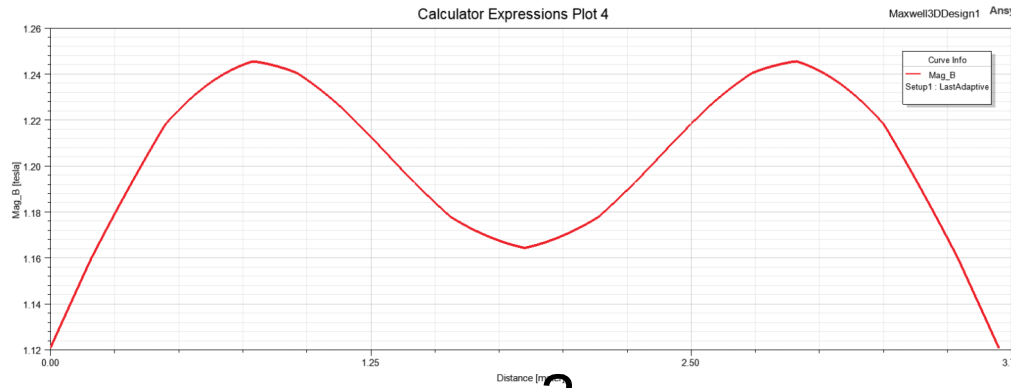
Размеры магнитной системы

Таблица 2. Рассмотренные схемы и соответствующие рисунки.

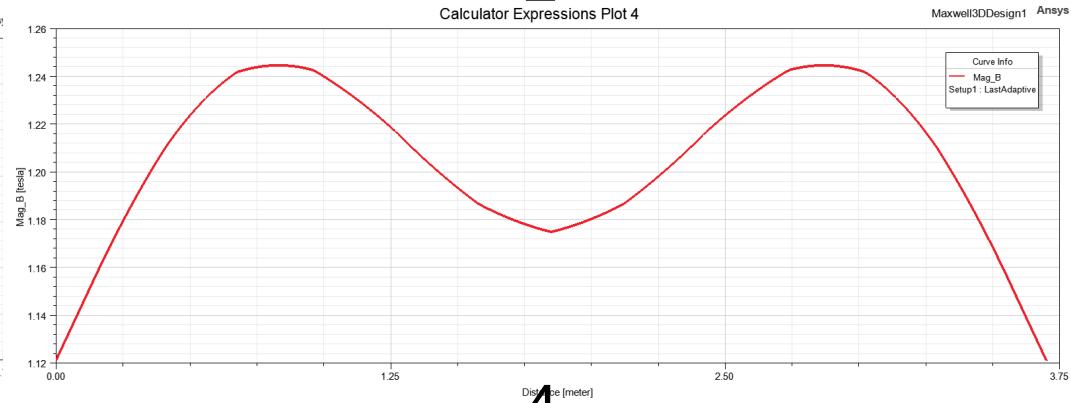
Scheme		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Ending coils, pcs	A	120	116	112	108	104	100	96	95	94	93	92
2. Central coils, pcs	B	0	8	16	24	32	40	48	50	52	54	56
3. Ending coils, pcs	A	120	116	112	108	104	100	96	95	94	93	92

Полученные результаты Схемы 1-4. Индукция вдоль Z (оси пучка).

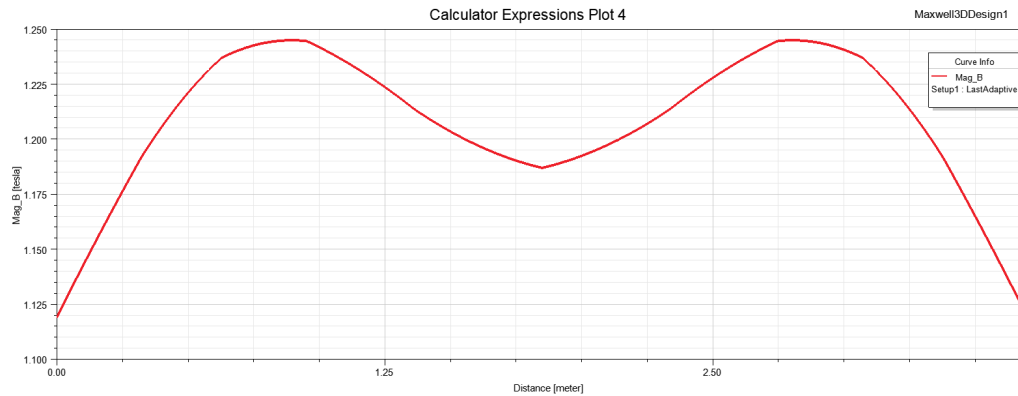
1



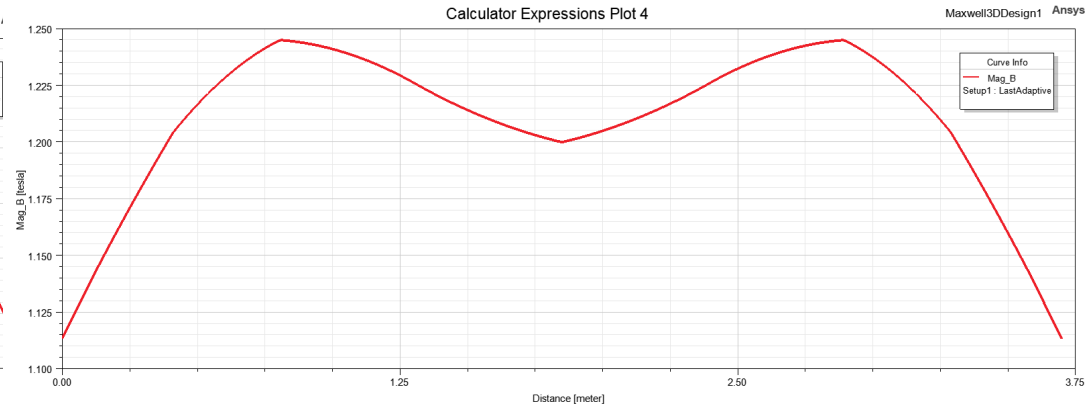
2



3

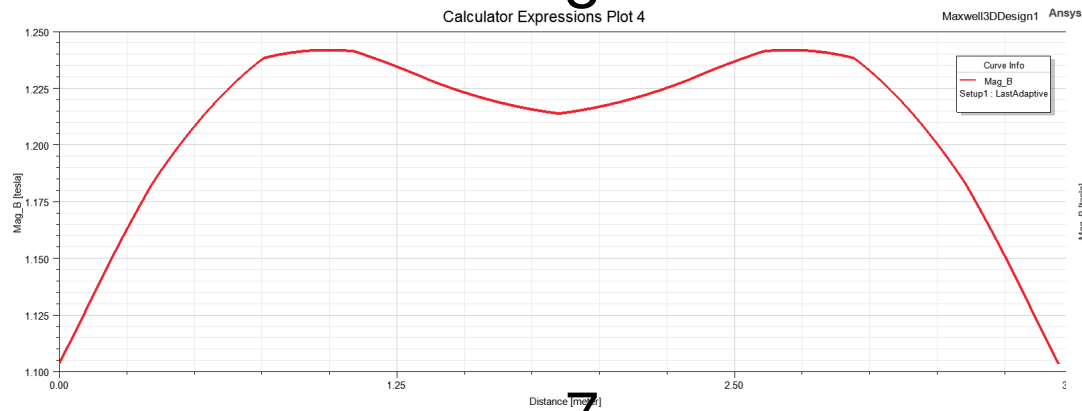


4

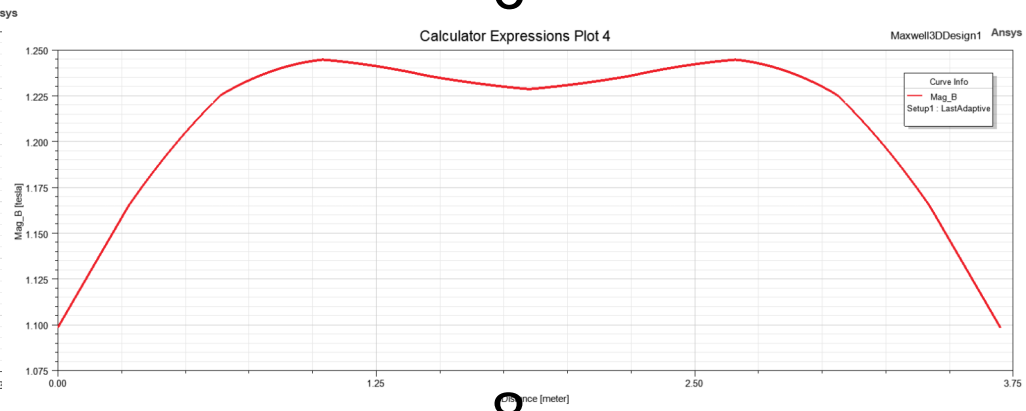


Полученные результаты Схемы 5-8. Индукция вдоль Z (оси пучка).

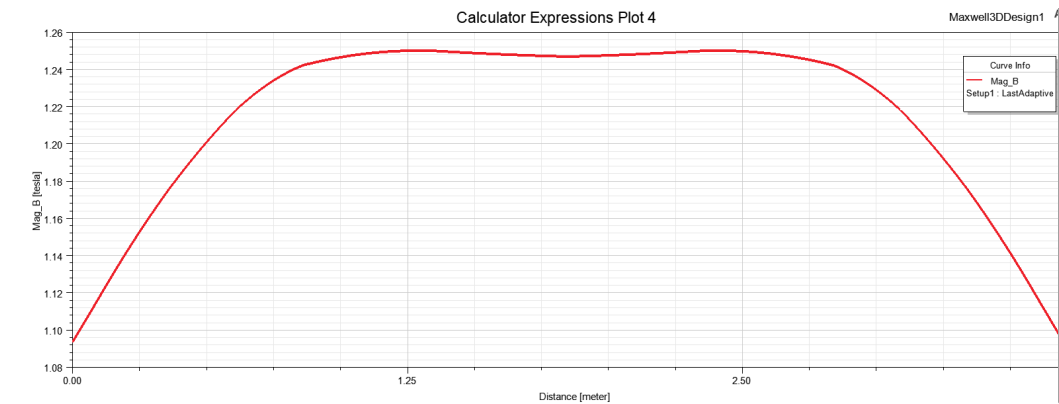
5



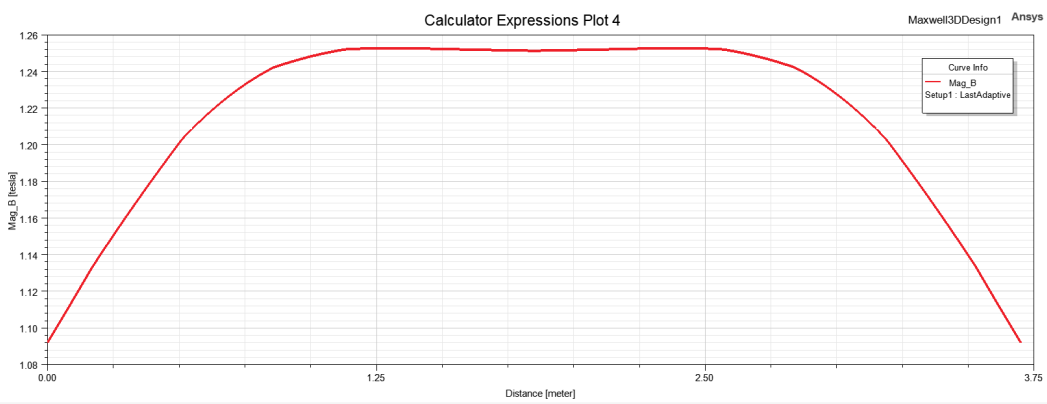
6



7



8

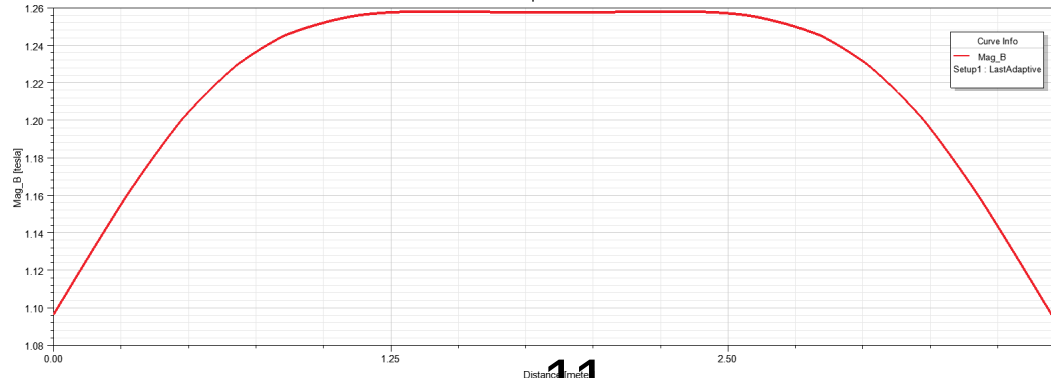


Полученные результаты Схемы 9-11. Индукция вдоль Z (оси пучка).

9

Calculator Expressions Plot 4

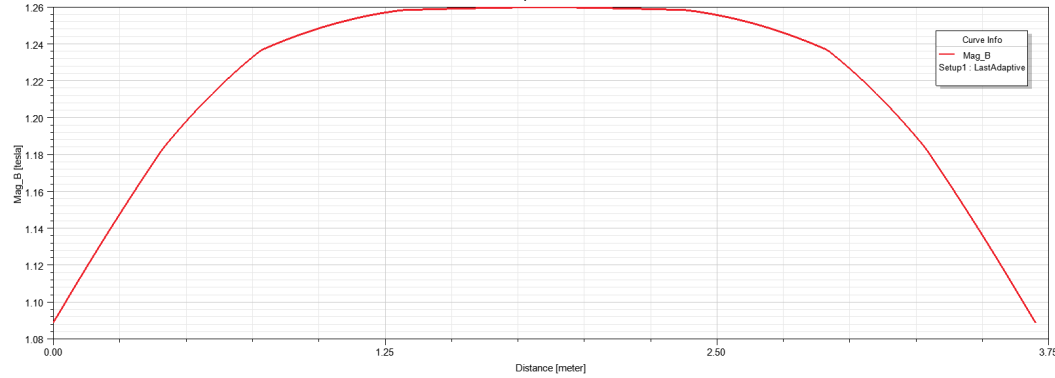
Maxwell3DDesign1 A



10

Calculator Expressions Plot 4

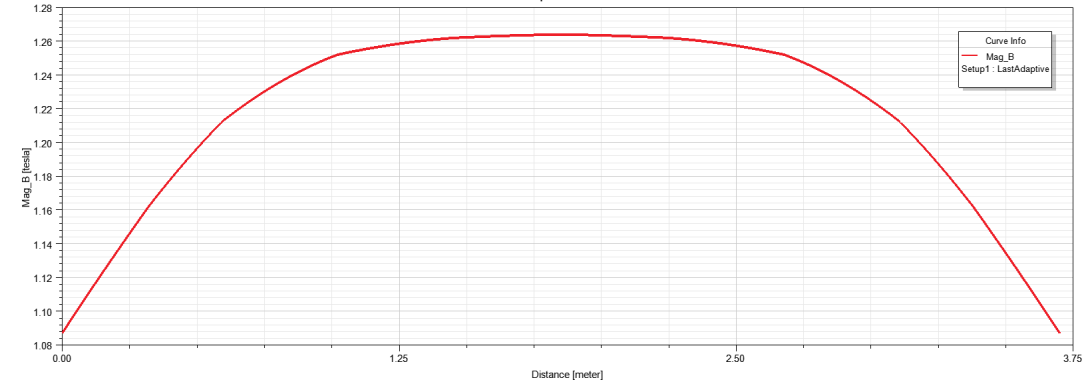
Maxwell3DDesign1 Ansys



11

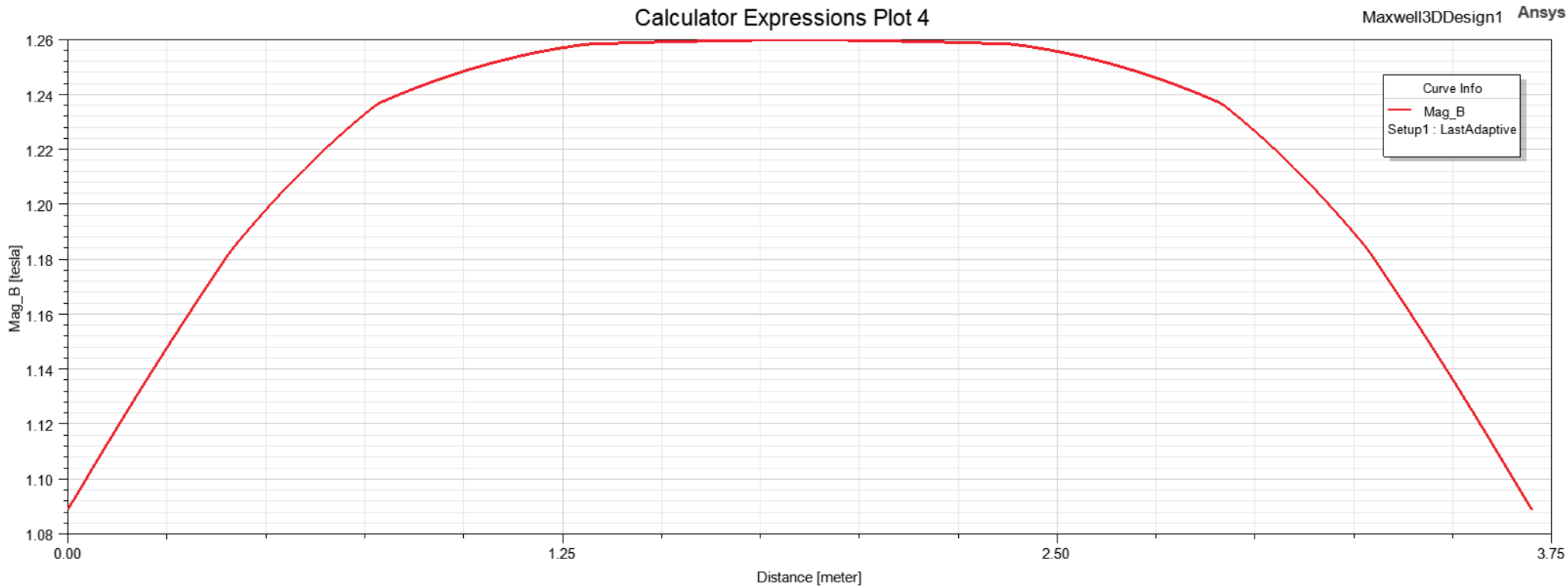
Calculator Expressions Plot 4

Maxwell3DDesign1 Ansys



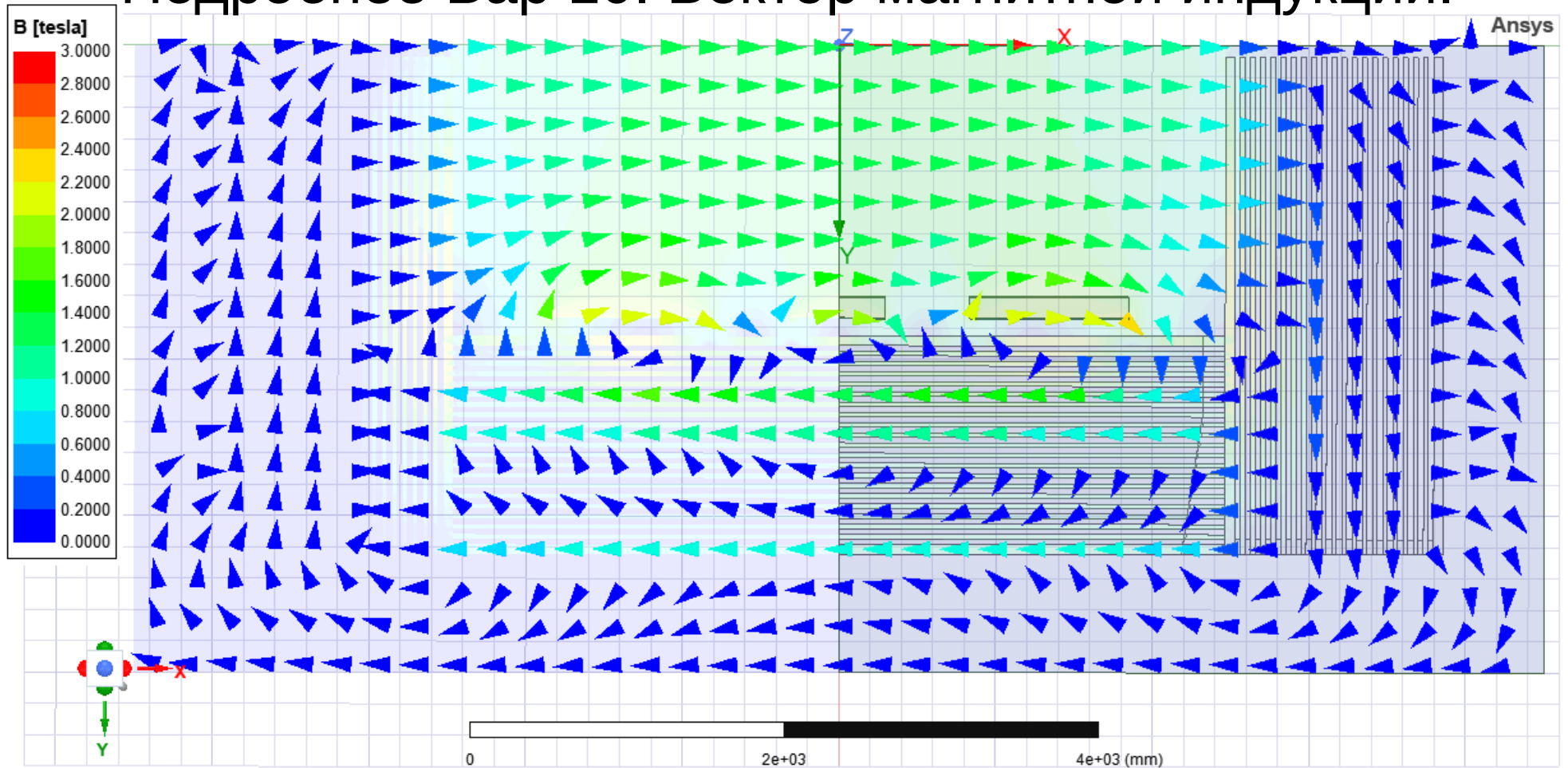
Полученные результаты

Подробнее Вар. 10. Индукция вдоль Z (оси пучка).



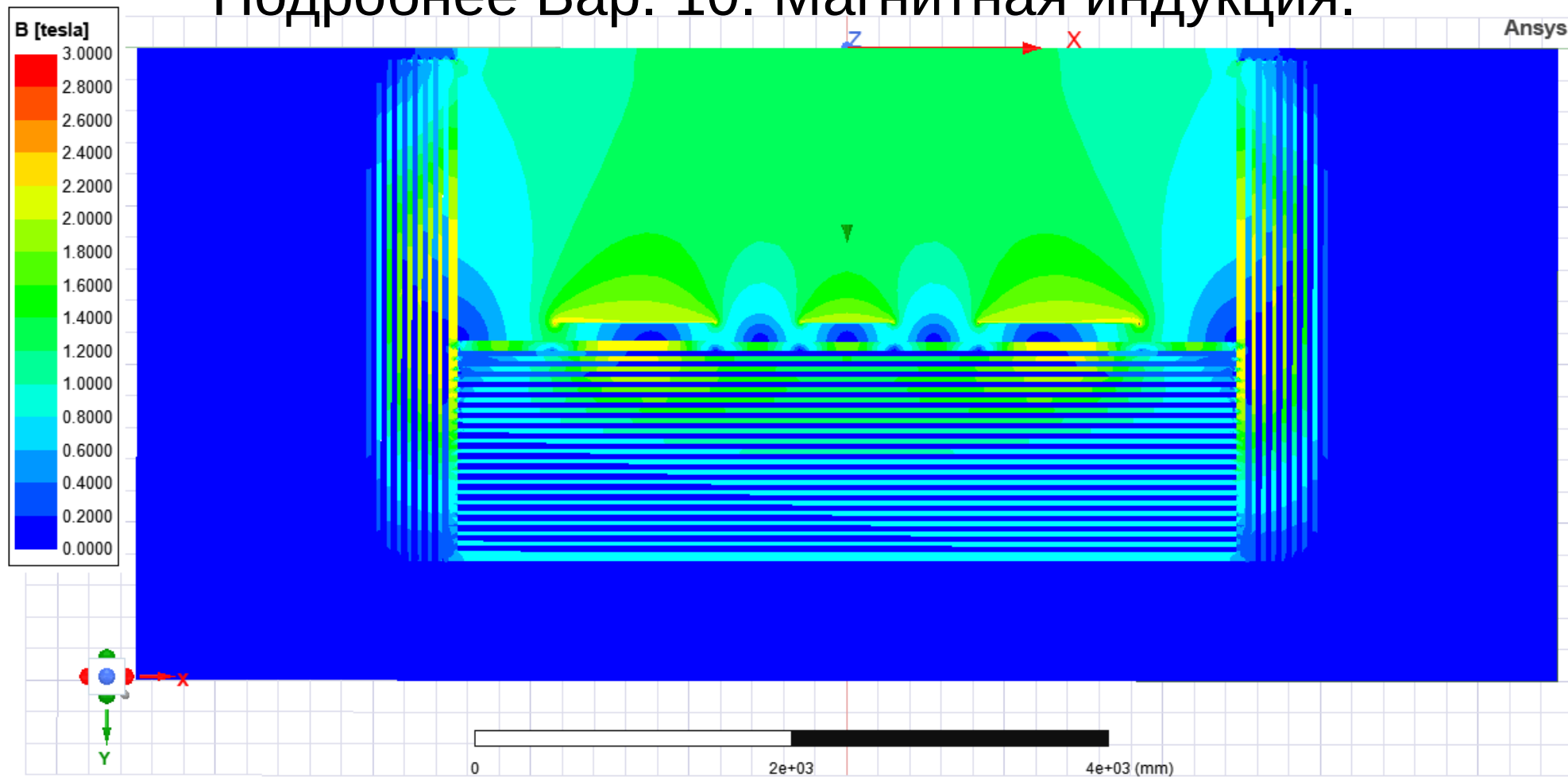
Полученные результаты

Подробнее Вар 10. Вектор магнитной индукции.



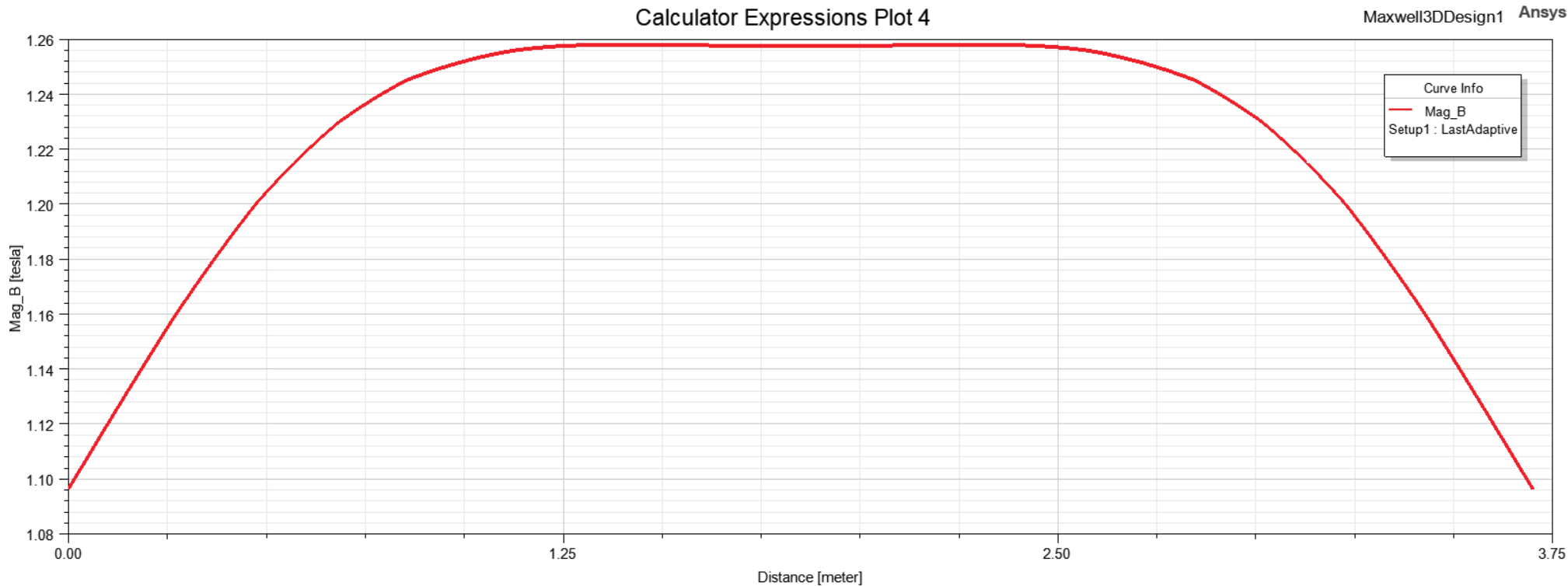
Полученные результаты

Подробнее Вар. 10. Магнитная индукция.



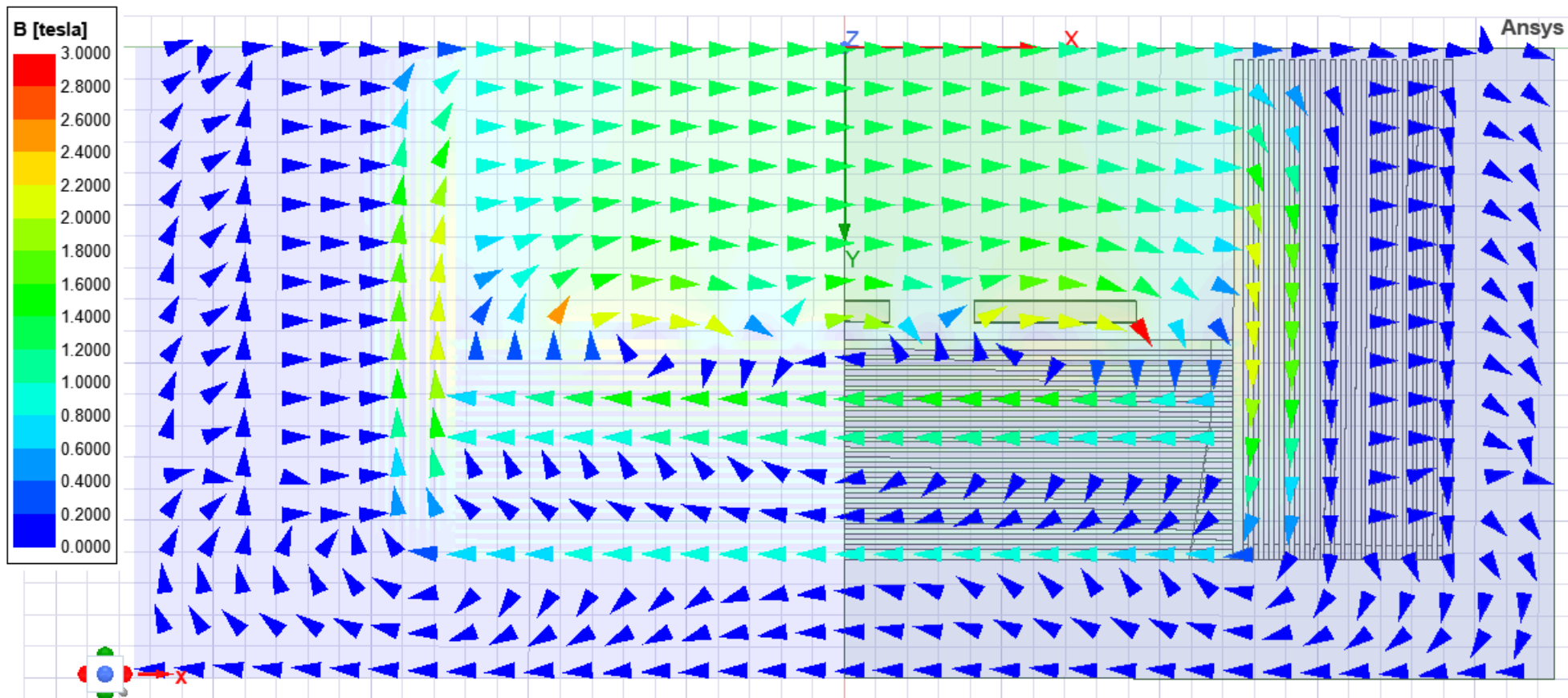
Полученные результаты

Подробнее Вар. 9. Индукция вдоль Z (оси пучка).



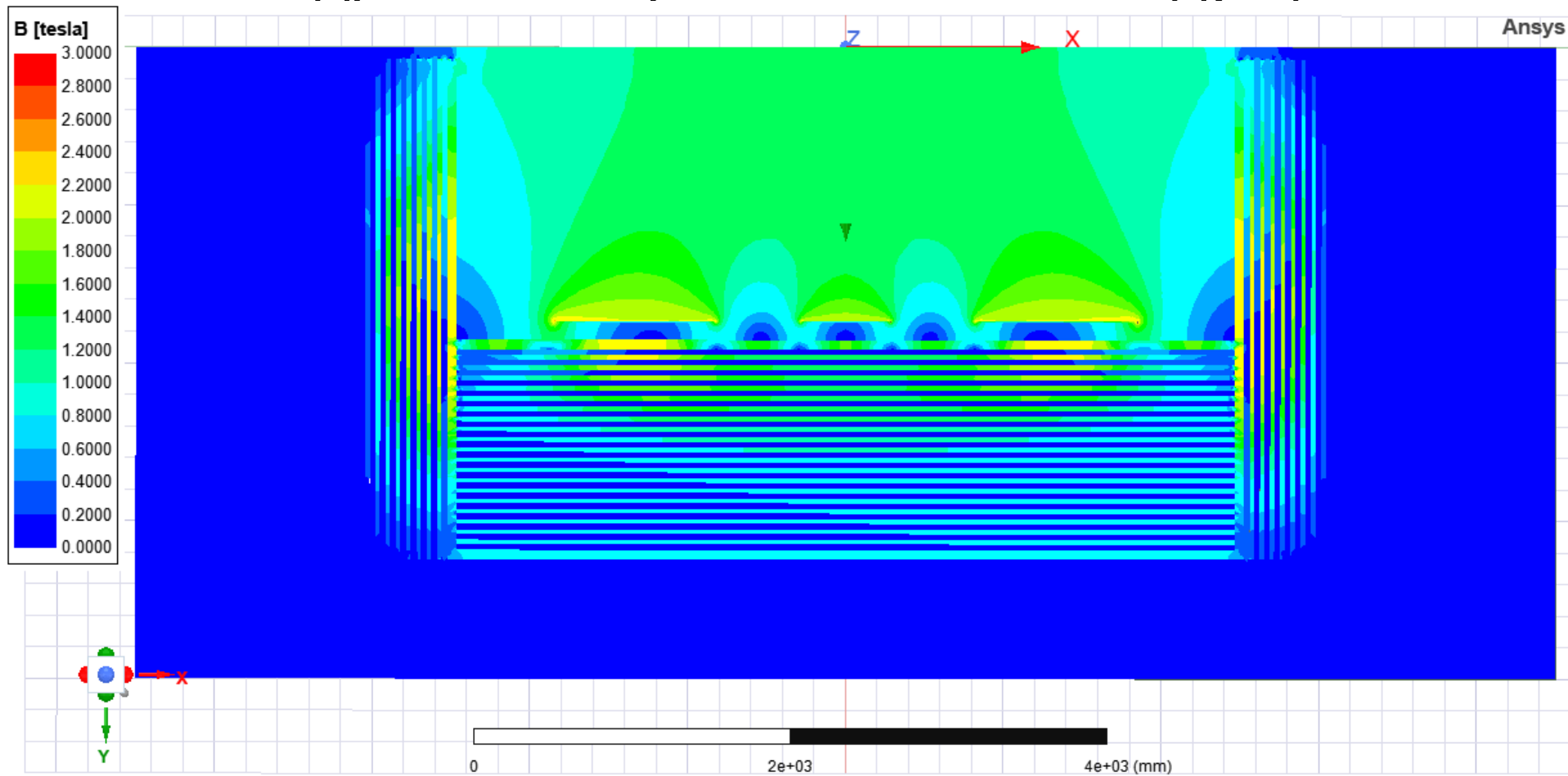
Полученные результаты

Подробнее Вар. 9. Вектор магнитной индукции.



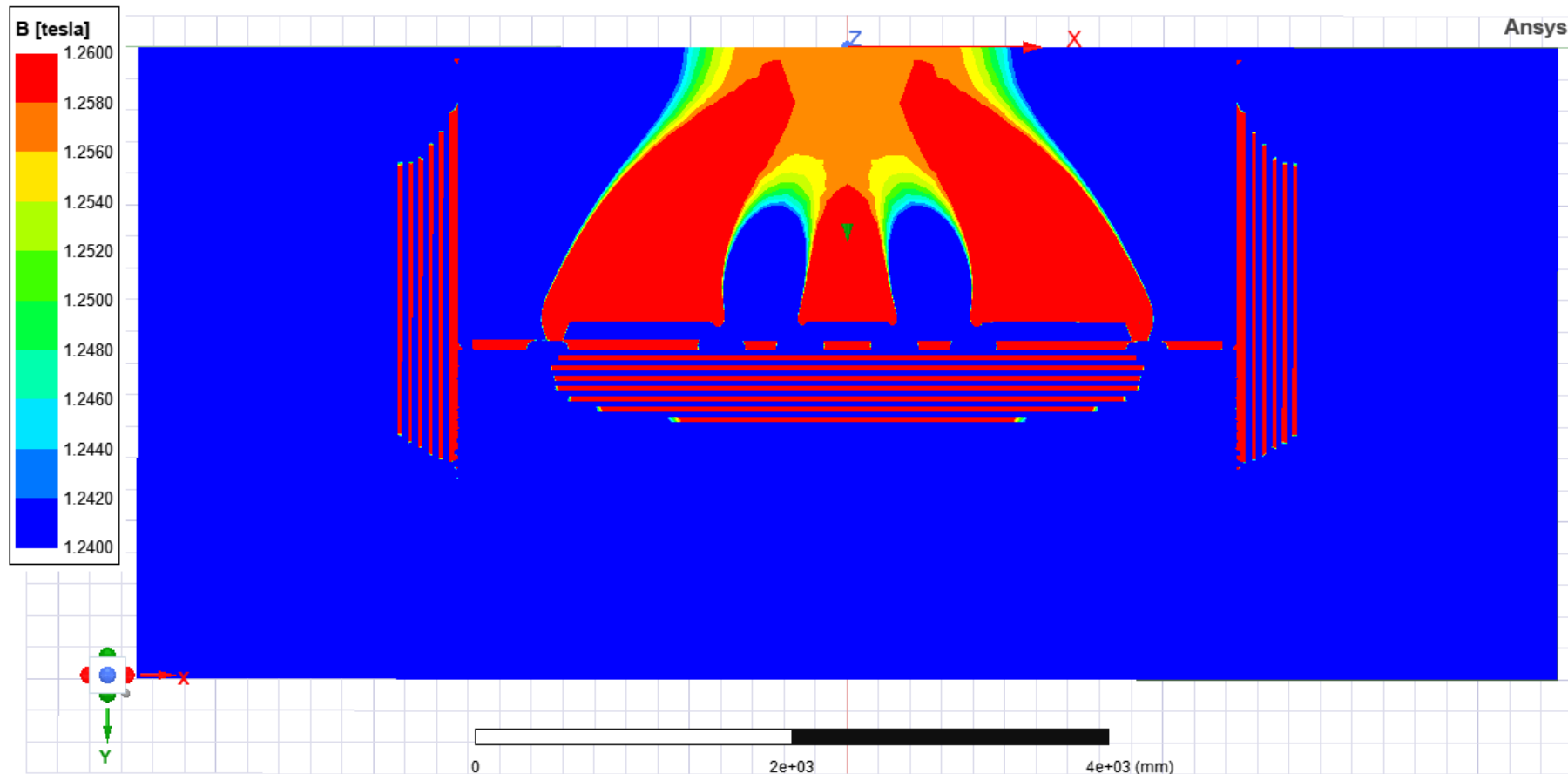
Полученные результаты

Подробнее Вар. 9. Магнитная индукция.



Полученные результаты

Подробнее Вар. 9. Локальная магнитная индукция.



Вывод.

1. Наиболее равномерное поле вдоль Z получен для вар. 9.
2. Необходимо уменьшить ток в катушках (пропорционально + поправки на нелинейные эффекты) до заданного значения индукции в 1 Т в области равномерного поля. После изменений потребуется пересчет суммарного количества витков в MS.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

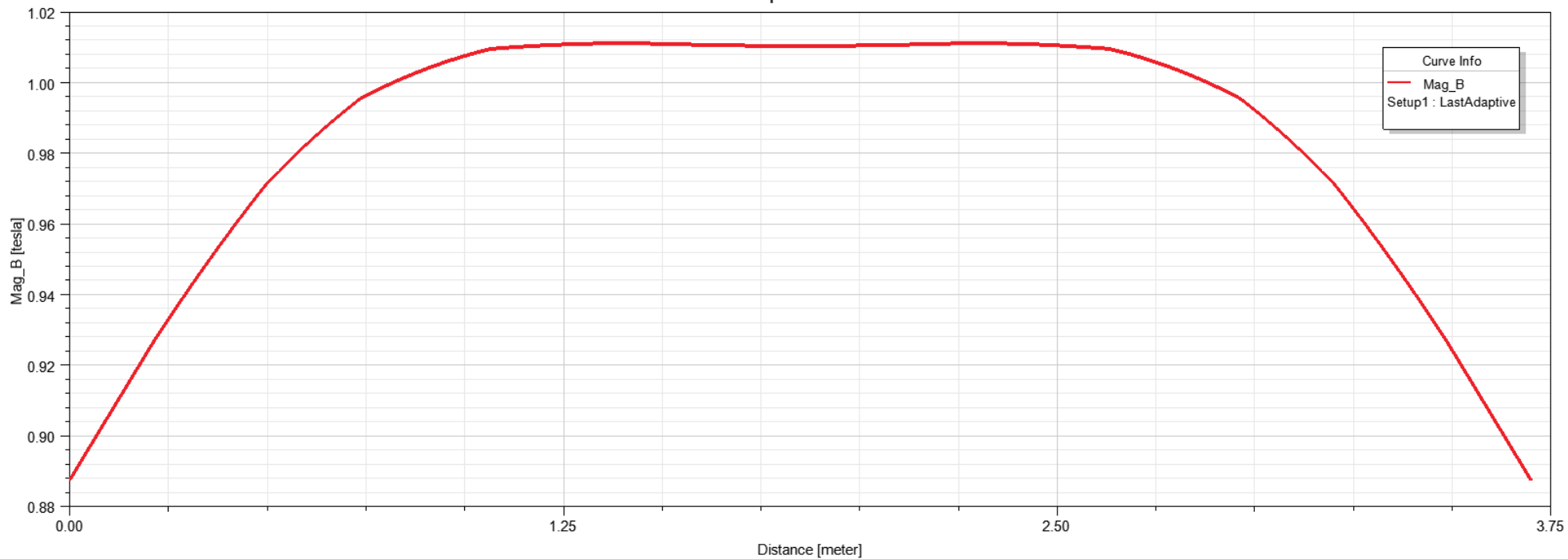
Дополнительно.

Полученные результаты

Вар. 9.1. I=80% Индукция вдоль Z (оси пучка).

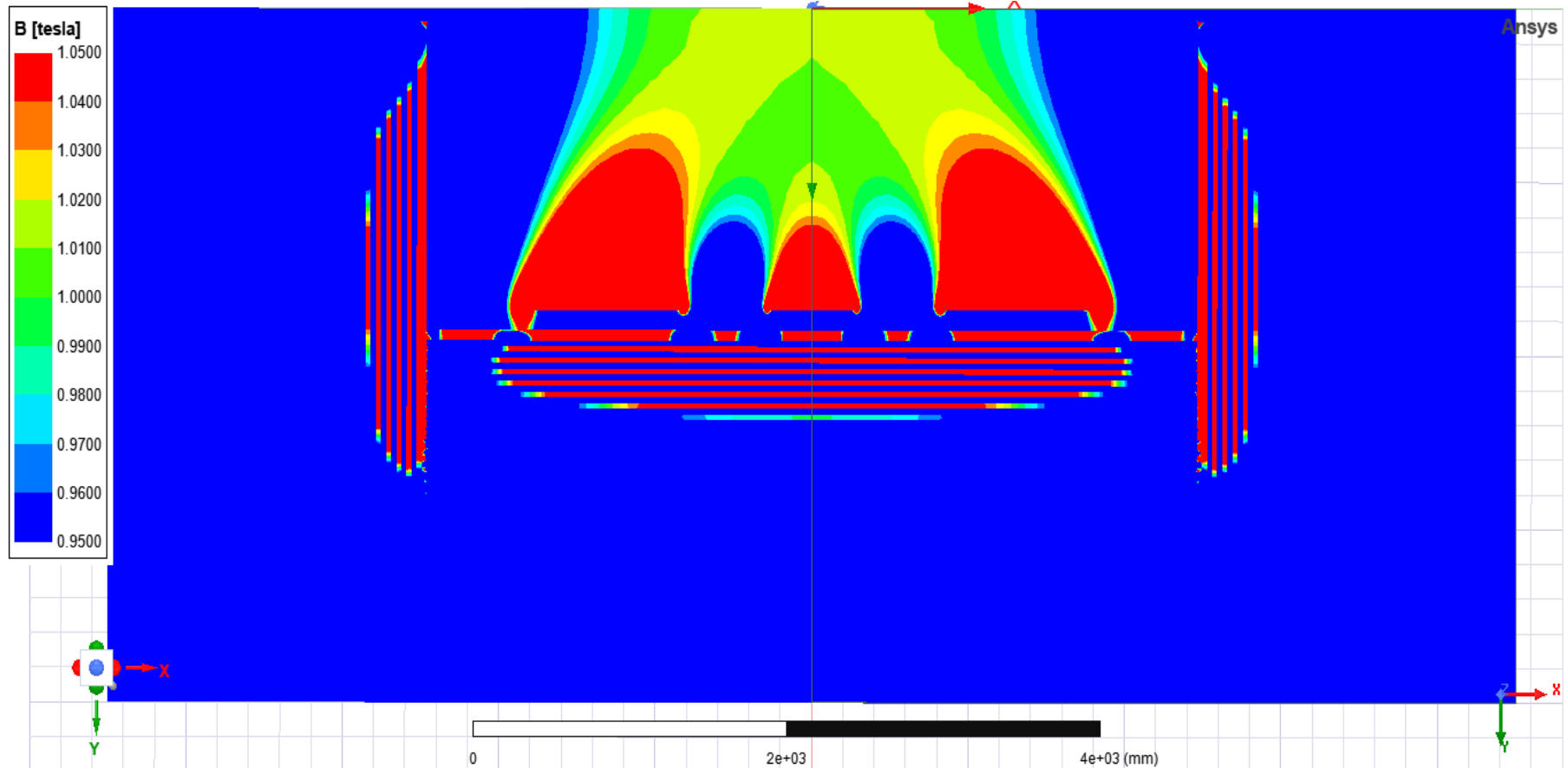
Calculator Expressions Plot 4

Maxwell3DDesign2 Ansys



Полученные результаты

Вар. 9.1. I=80% Локальная магнитная индукция.



Дополнительно.

Таблица 3. Сходимость результатов.

MS 2021 Forces												
		10 pass		16 passes		18 pass		20 pass		22 pass		MS 2021
		142k		865k		1158k		1957k		3307k (1h 45m)		
		1/32	$\Delta_i\%$	1/32	$\Delta_i\%$	1/32	$\Delta_i\%$	1/32	$\Delta_i\%$	1/32	$\Delta_i\%$	Toltal
Coil 1, kN	Z	5,9		5,9	100,0%	6	101,7%	6	100,0%	6,07	101,2%	
	Y	-367,9		-369,8	100,5%	-370	100,1%	-370,5	100,1%	-370,63	100,0%	
	X	63,3		66,5	105,1%	67	100,8%	68	101,5%	69,54	102,3%	
Coil 2, kN	Z	70		70	100,0%	70,1	100,1%	70	99,9%	70,51	100,7%	
	Y	-388,7		-390,7	100,5%	-391,1	100,1%	-392	100,2%	-392,51	100,1%	
	X	72		72	100,0%	73,3	101,8%	72,4	98,8%	74,34	102,7%	
Coil 3, kN	Z	-283,4		-283,4	100,0%	-283,4	100,0%	-283,2	99,9%	-283,02	99,9%	
	Y	-362,6		-363,9	100,4%	-365,2	100,4%	-365,9	100,2%	-366,7	100,2%	
	X	59,3		64,3	108,4%	62,6	97,4%	63,8	101,9%	63,72	99,9%	
Barrel sector 1/8, kN	Z	231,3		238,3	103,0%	238,1	99,9%	239,4	100,5%	240,23	100,3%	
	Y	178,8		179	100,1%	179,1	100,1%	179,2	100,1%	179,17	100,0%	
	X	-11,7		-9,3	79,5%	-7,7	82,8%	-6,9	89,6%	-6,65	96,4%	
Endcaps ¼, kN	Z	-331,1		-345,4	104,3%	-347,5	100,6%	-350,2	100,8%	-351,62	100,4%	
	Y	29,6		24,5	82,8%	24	98,0%	23,4	97,5%	22,62	96,7%	
	X	-5,3		-7	132,1%	-7,4	105,7%	-5,6	75,7%	-3,45	61,6%	

Дополнительно.

Оценка результатов расчета по энергии ANSYS MAXWELL.

FEM Percent Error Energy

- Summation of local error in each triangle divided by total energy

$$\text{Percent Error Energy} = \sum_{i=1}^n \frac{|R(\text{local})_i|}{\text{Total Energy}} \times 100\%$$

- Local errors can exceed Percent Error Energy