

Методика оптимизации SE трансформатора по результатам измерения сердечника.

Часть 2

Автоматизированный расчет.

С помощью программы Microsoft Excel можно автоматизировать процесс расчета и построения номограммы.

Исходными данными являются:

S_c (кв.см) – площадь поперечного сечения сердечника

l_c (см) – средняя длина магнитной линии сердечника

B_{max} (Тл) – максимальная рабочая индукция материала сердечника по результатам испытаний или данным производителя

$B_{ном}$ (Тл) – номинальная рабочая индукция, соответствующая середине линейного участка (рабочая точка)

$\mu_{ном}$ – относительная магнитная проницаемость магнитопровода, по результатам измерений или данным производителя

$L_{ном}$ – индуктивность испытательной обмотки

$N_{исп}$ – количество витков испытательной обмотки.

Внесем данные в выделенные желтым цветом ячейки A1-E1

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Строка вводных данных - измерения сердечника без зазора							
2	S_c кв.см	l_c см	B_{max} Тл	$B_{ном}$ Тл	$\mu_{ном}$	$L_{ном}$ Гн	$N_{исп}$	$L_{расч}$
3	3,9	12,77	1,5	0,8	12000	0,46	100	0,460304

В ячейке H1 посчитаем индуктивность испытательной обмотки по формуле из предыдущего раздела и сравним с измеренной величиной, удостоверимся в совпадении.

При работе с однотипными сердечниками, отличающихся только сечением, достаточно испытать один типоразмер, и использовать данные о проницаемости, максимальной и номинальной индукции для расчета трансформаторов другого сечения. Для этого достаточно поменять данные о сечении и средней длине магнитной линии и занести расчетное значение из ячейки H3 в ячейку F3.

В следующих ячейках приступаем к расчету.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
4			1	2	3	4	5	6	7						
5			0,01	0,02	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	Зазоры для расчета можно задавать самостоятельно					
6		l_0/L	1,939702	2,879405	5,698512	10,39702	15,09554	19,79405	24,49256						
7		$\mu_{ном}$ ра	6186,516	4167,528	2105,813	1154,176	794,937	606,2428	489,9447	Проверьте соответствие расчета графикам испытаний					
8		$N_{лонт}$	6,349206	12,69841	33,33333	66,66667	100	126,9841	166,6667						

Зададим в ячейках C5-I5 значения зазоров, для которых будем строить номограмму.

В следующей строке (ячейки C6-I6) рассчитаем по формуле (7) коэффициент снижения проницаемости для заданных зазоров при рабочей индукции $B_{ном}$

Ниже для каждого зазора рассчитаем проницаемость сердечника с зазором, зная проницаемость μ_0 и коэффициент, рассчитанный выше.

В следующей строке (ячейки C8-I8) по формуле (6), зная величину зазора и требуемую рабочую индукцию $B_{ном}$, вычислим NI для каждого зазора.

Затем построим таблицу точек номограммы.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
9	Витки	L_0	L	I_0	L	I_0	L	I_0	L	I_0
10			1	1	3	3	5	5	7	7
11	1000	46	23,71498	0,006349	8,072283	0,033333	3,047258	0,1	1,878121	0,166667
12	2000	184	94,85991	0,003175	32,28913	0,016667	12,18903	0,05	7,512485	0,083333
13	3000	414	213,4348	0,002116	72,65054	0,011111	27,42533	0,033333	16,90309	0,055556
14	4000	736	379,4396	0,001587	129,1565	0,008333	48,75613	0,025	30,04994	0,041667
15	5000	1150	592,8744	0,00127	201,8071	0,006667	76,18146	0,02	46,95303	0,033333
16			2	2	4	4	6	6		
17	1000	46	15,97552	0,012698	4,424343	0,066667	2,323931	0,126984		
18	2000	184	63,90209	0,006349	17,69737	0,033333	9,295723	0,063492		
19	3000	414	143,7797	0,004233	39,81909	0,022222	20,91538	0,042328		
20	4000	736	255,6084	0,003175	70,78949	0,016667	37,18289	0,031746		
21	5000	1150	399,3881	0,00254	110,6086	0,013333	58,09827	0,025397		

Для построения зададимся предполагаемым количеством витков от 1000 до 5000, занесем в ячейки A11-A15 и A17-A21.

Затем в ячейках B11-B15 и B17-B21 рассчитаем индуктивность обмоток на сердечнике без зазора по формуле $L = (N/N_{исп})^2 \cdot L_{ном}$, взяв данные из соответствующих ячеек.

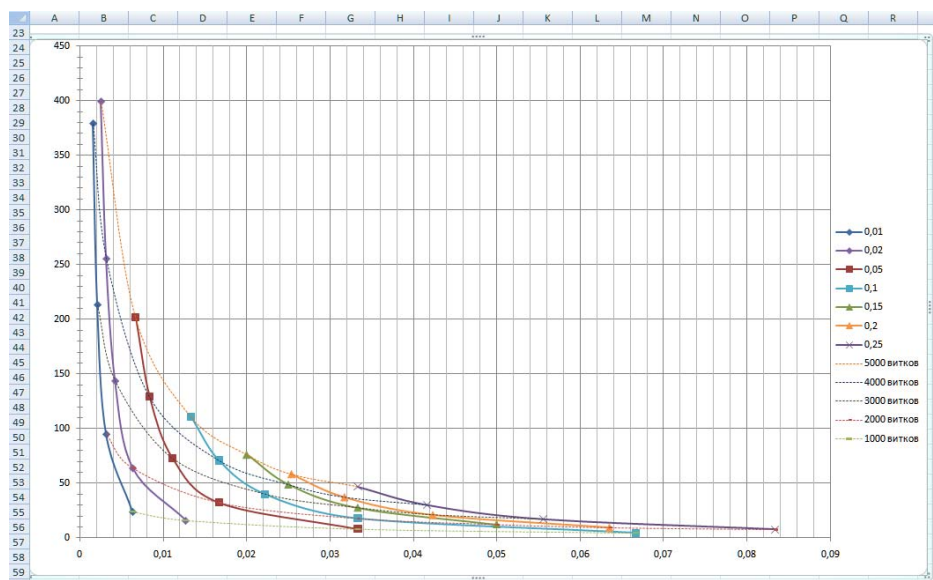
В ячейках C11-C15, используя рассчитанный в ячейке C6 коэффициент, определим индуктивность обмоток с количеством витков от 1000 до 5000 на сердечнике с зазором, заданным в ячейке C5, а в ячейках D11-D15 определим ток в обмотке, при котором в сердечнике достигается индукция $B_{ном}$. Для этого поделим значение $NI_{опт}$ из ячейки C8 на количество витков из ячеек A11-A15.

Такой же расчет произведем для остальных шести зазоров.

На основании этих данных построим номограмму.

На оси абсцисс отложим рабочий ток, по оси ординат – индуктивность.

Пользуясь значениями из ячеек C11-C15 и D11-D15, сплошной линией начертим кривую для минимального зазора, и повторим эту операцию для остальных шести случаев, затем соединим точки одинакового количества витков пунктирными линиями.



Номограмма готова!

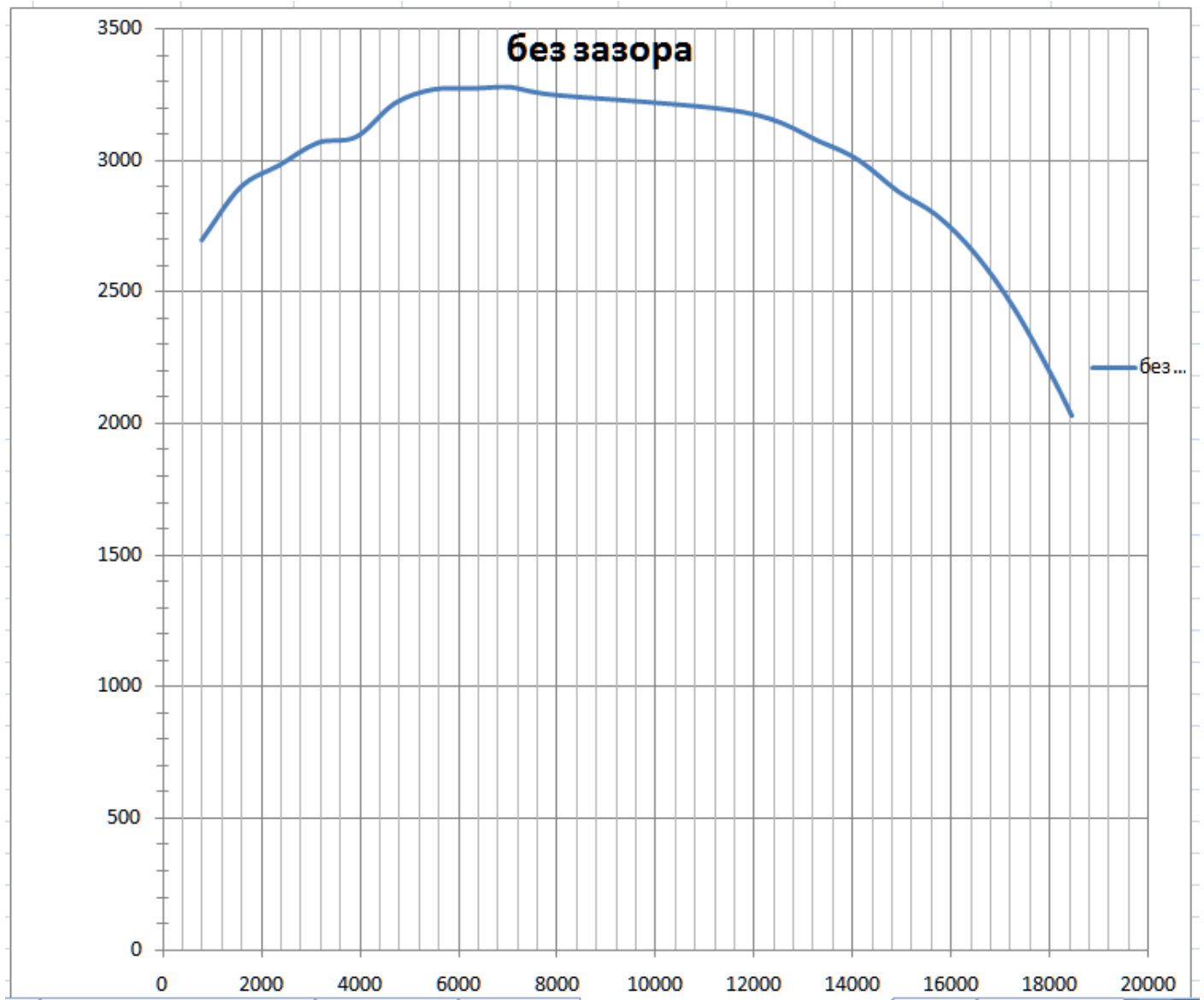
По ней можно полностью проанализировать поведение сердечника, рассчитать количество витков и зазор для необходимой индуктивности и рабочего тока.

Евгений Комиссаров, Москва, ноябрь 2010г.

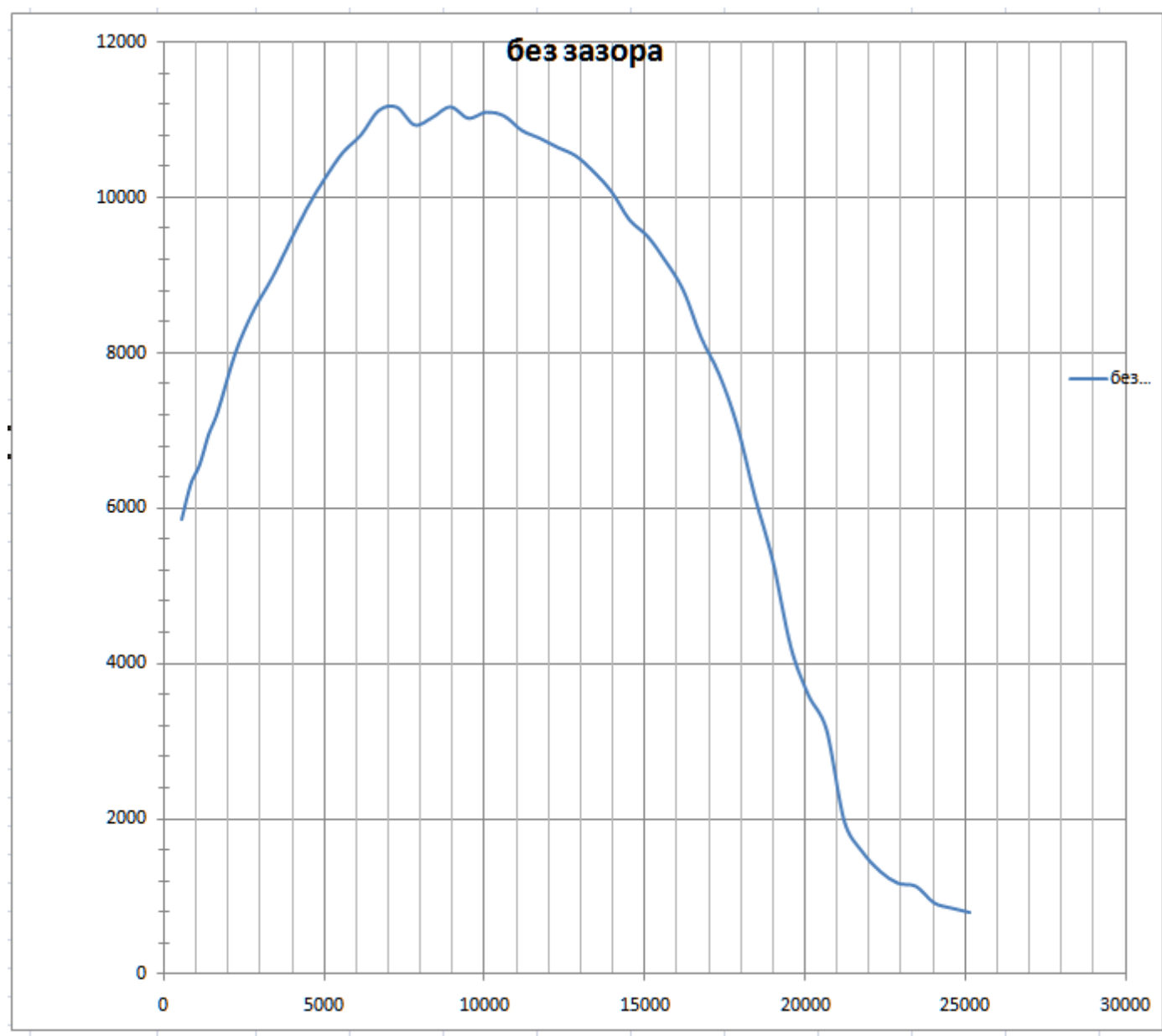
Приложение 1

Примеры испытания разного типа сердечников.

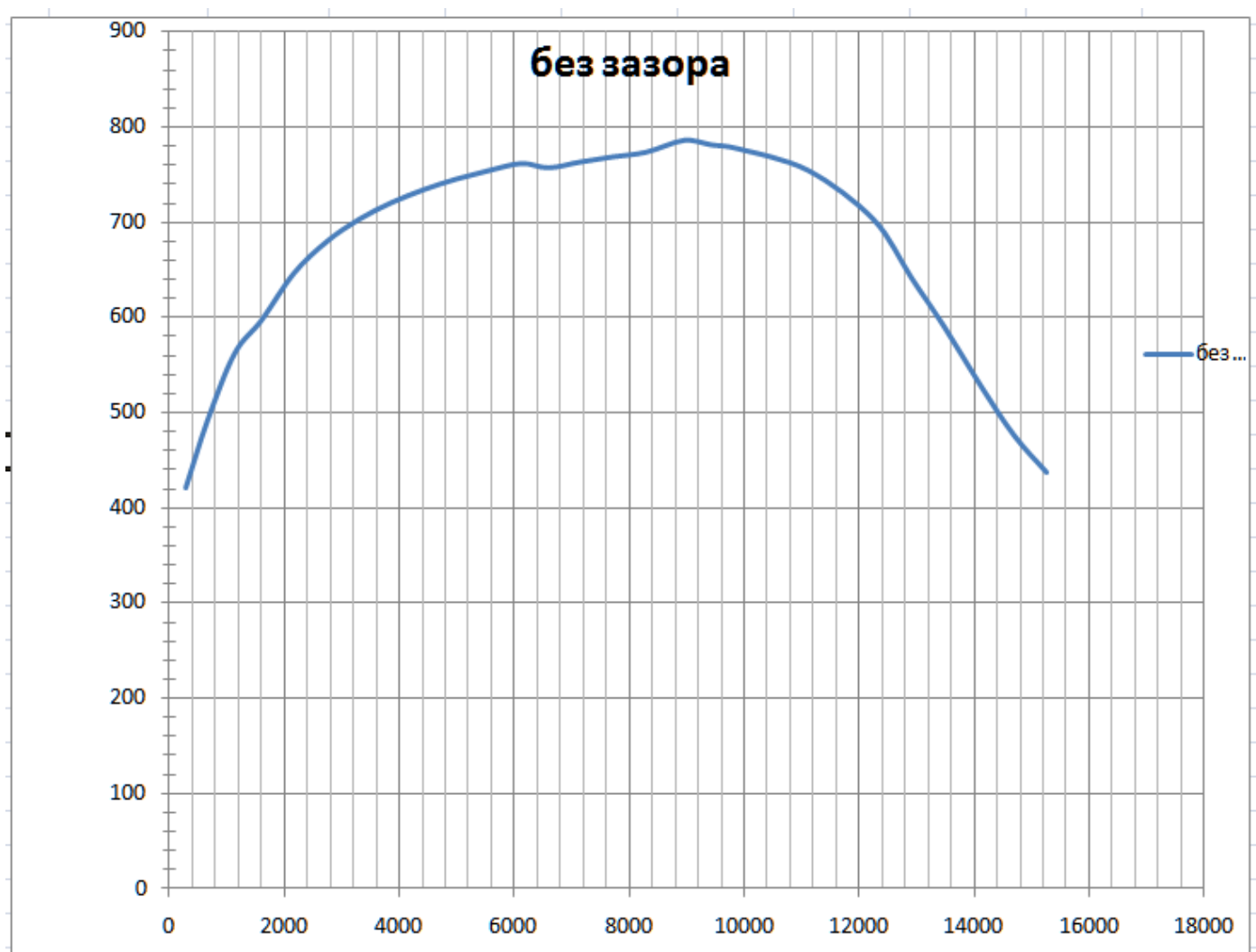
1. ОСМ 19кв.см. $B_{\max}=16000$ Гс, $B_{\text{ном}}=8000$ Гс $\mu_{\text{ном}}=3250$



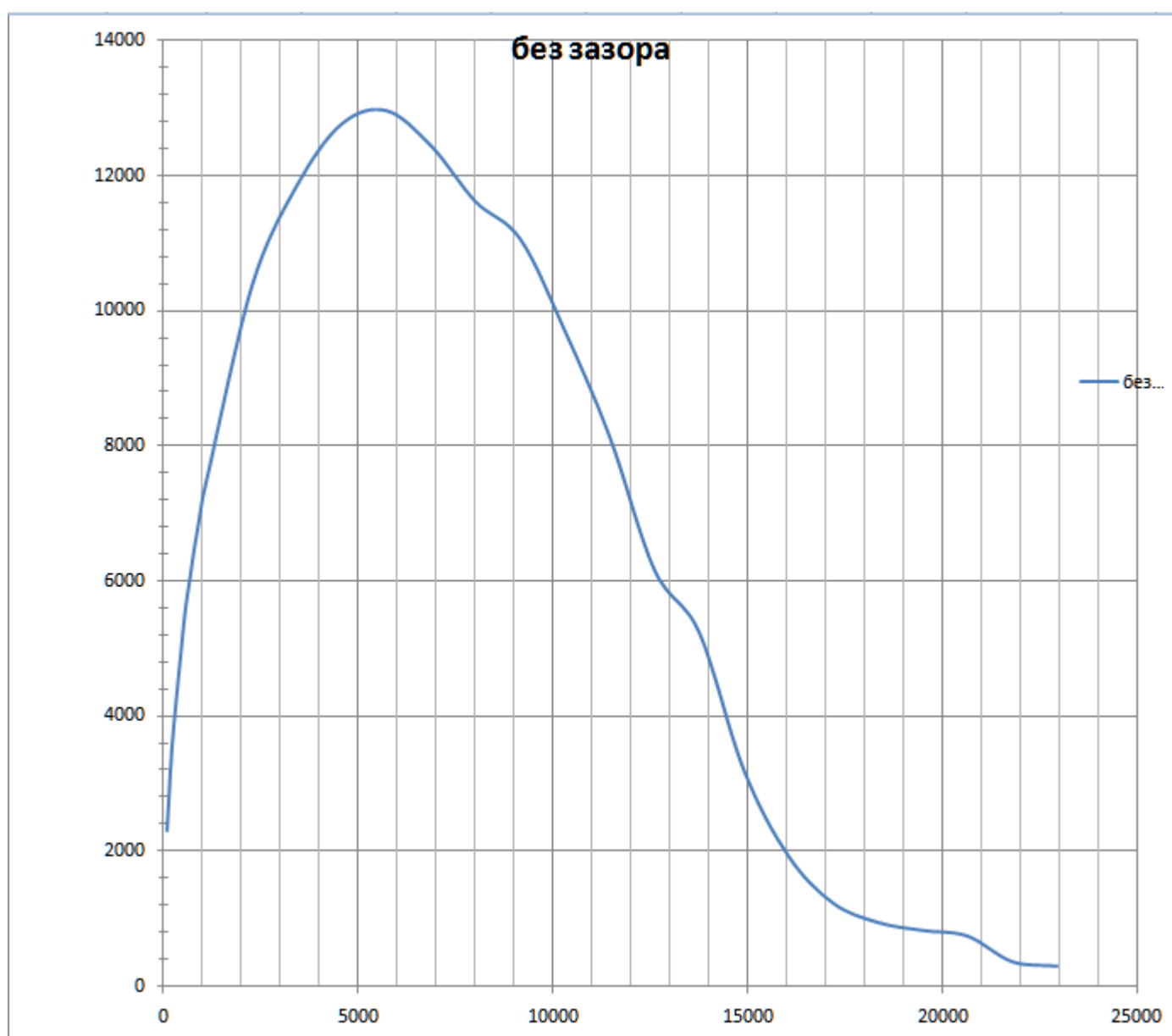
2. Железо М4 Нi-B 16 кв.см. $V_{\max}=18000\text{Гс}$, $V_{\text{ном}}=9000\text{Гс}$ $M_{\text{ном}}=11000$



3. Железо SABA выходной трансформатор из старого радиоприемника, 5 кв. см.
 $B_{max}=15000$ Гс, $B_{ном}=7500$ Гс $\mu_{ном}=780$



4. Пермаллой 4 кв.см (данные этого сердечника применены в примере построения номограммы)
 $B_{max}=15000$ Гс, $B_{ном}=7500$ Гс $\mu_{ном}=12000$



5. Железо М4 Нi-B 7,7 кв.см. $B_{max}=18000$ Гс, $B_{ном}=9000$ Гс $\mu_{ном}=11000$. Обратите внимание на совпадение данных с сердечником 16кв.см.

