

Параметры некоторых типов электротехнических сталей

Евгений Карпов

В статье приведены экспериментально снятые магнитные параметры широко распространенных типов кремнистых сталей.

Все любители ламповой техники рано или поздно сталкиваются с вопросом изготовления выходного трансформатора. В сети существует достаточно толковых рекомендаций по их проектированию, но для их успешного применения желательно еще иметь и характеристики магнитных материалов. А вот тут существует определенная проблема. В классических учебниках, в основном, приведены характеристики устаревших и давно не выпускаемых материалов, а информация по современным материалам носит разрозненный или сильно обобщенный характер. Заполняется это вакуум довольно своеобразно – рассуждениями на уровне «пикейных жилетов» и мифотворчеством. Я надеюсь, что эта небольшая публикация заполнит вакуум данных более конструктивно.

Что и как измерялось

Образцы материала представляли собой стандартные разрезные ленточные сердечники. Тип сталей 3408, 3413 (Э330), 3423(Э360) – сомнения не вызывает, для испытаний использовались новые сердечники, извлеченные из заводской упаковки. А вот вероятность того, что испытывалась именно сталь 3411 (Э310), приблизительно равна 95%. Фактически, из кучи была взята пара трансформаторов ТС-180-2, и из них извлечены сердечники. В ТУ на эти трансформаторы оговорена именно эта сталь, кроме того, проверка параметров потерь сердечников в сильных полях приблизительно соответствовала характеристикам стали 3411. Вообще-то, тип стали этих сердечников носит скорее академический характер, для любителей важнее их доступность. Толщина ленты у сердечников из сталей 3408, 3423 – 0.08мм, а сталей 3413, 3411 – 0.35мм. Все сердечники изготовлены в промежутке между 70-м и 80-м годами.

На сердечник надевалась испытательная катушка с числом витков, зависящим от средней длины магнитной линии (чтобы обеспечить желаемую напряженность поля при фиксированном максимальном значении напряжения возбуждения).

Измерение параметров основной кривой намагничивания производилось на установке аналогичной описанной у [Цыкина](#). Баланс контролировался селективным вольтметром, а мост возбуждался от мощного транзисторного усилителя с собственным уровнем искажений, не превышающих 0.05% и малым выходным сопротивлением.

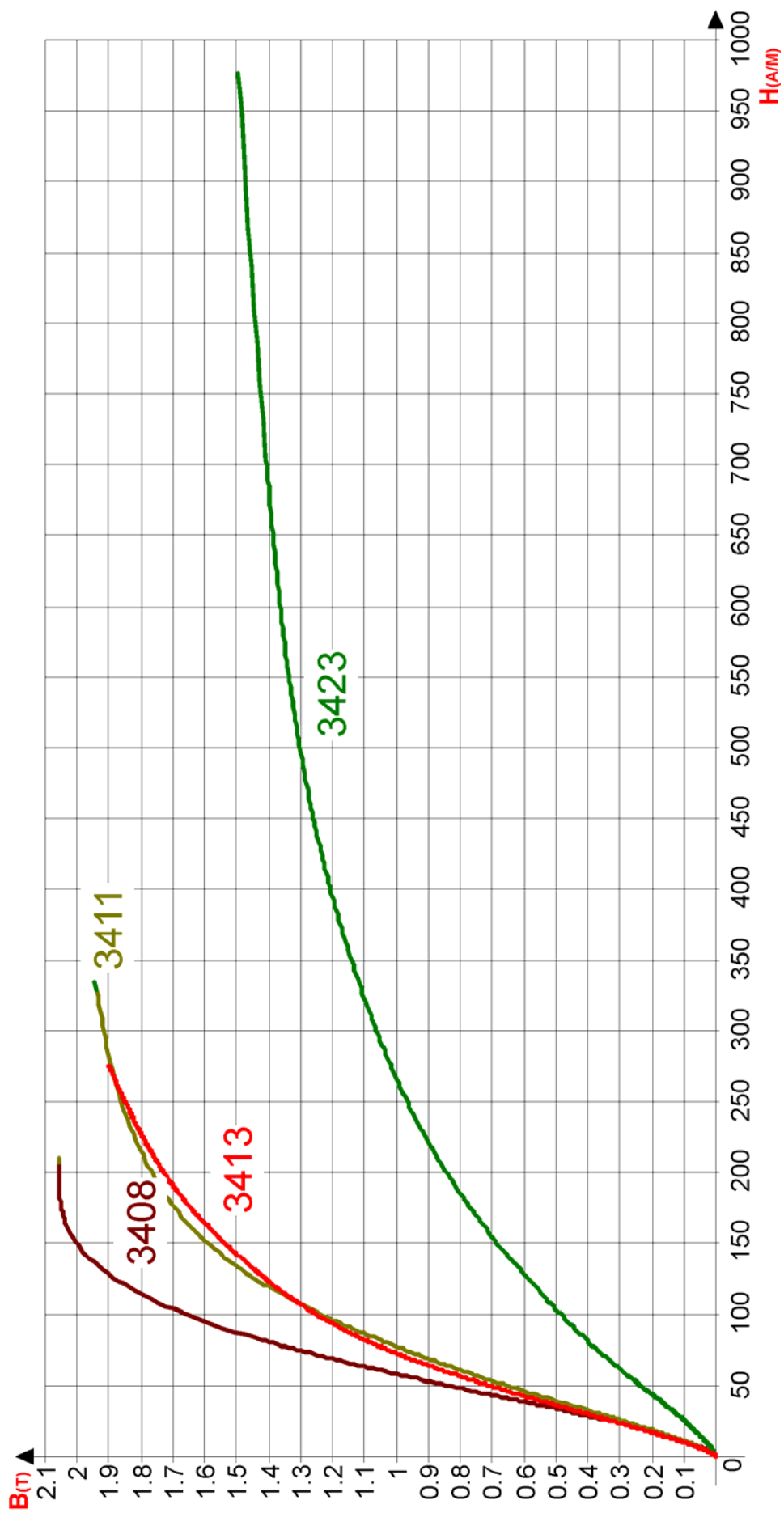
Нелинейность тока намагничивания контролировалась спектроанализатором на низкоомном шунте, включенном последовательно с испытательной обмоткой. Относительное значение тока гармоник вычислялось по следующей формуле:

$$K_n = 20 \cdot \log \frac{I_n}{I_1} (dB),$$

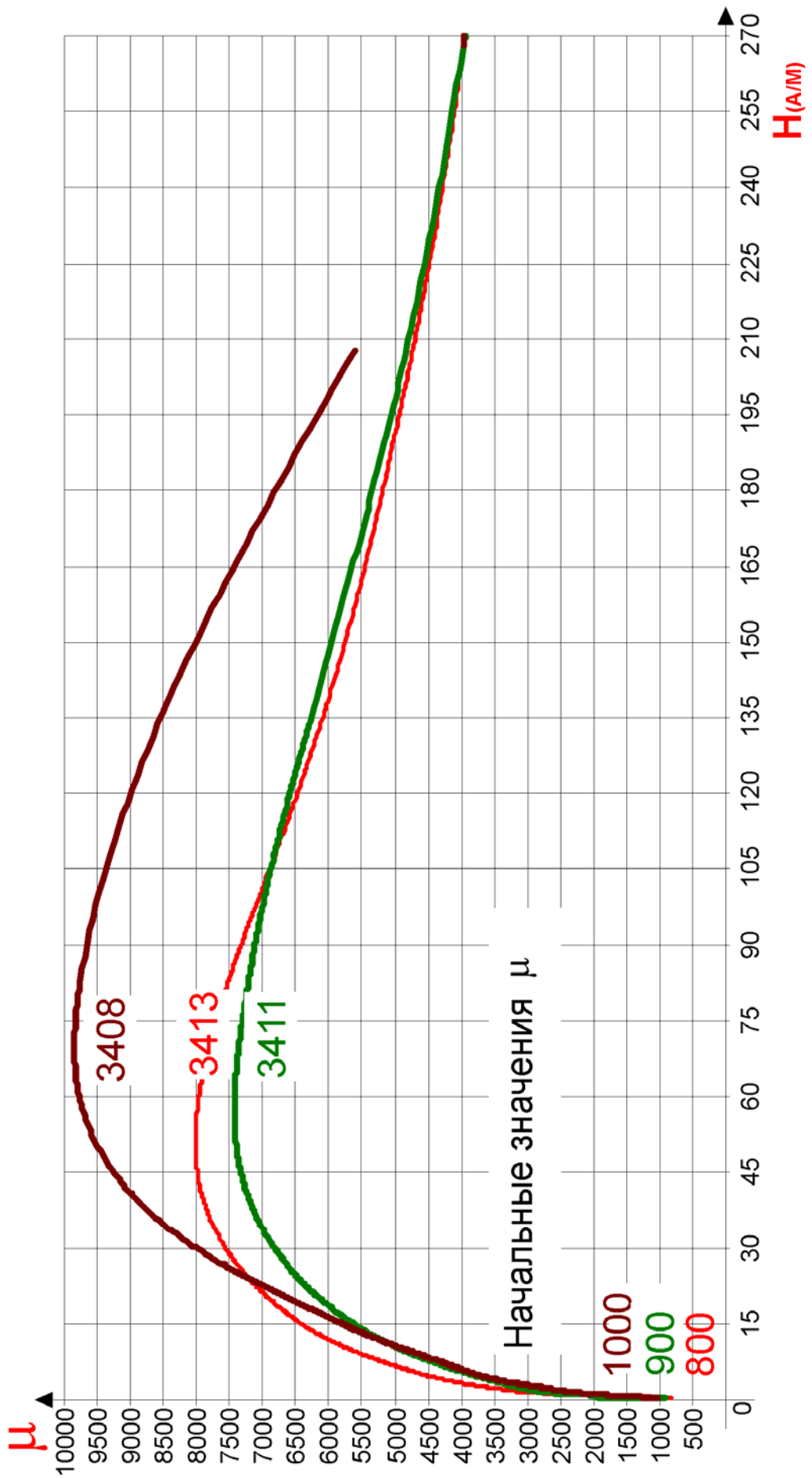
где: I_1 – ток первой гармоники,
 I_n – ток n-й гармоники.

Испытания проводились несколько раз и для нескольких сердечников. Что удивительно, разброс параметров между разными сердечниками оказался совсем небольшим, возможно это связано с тем, что сердечники были из одной партии и брались из одного ящика. Все измерения проводились на частоте 30Гц при двуполярном намагничивании материала. Перед каждым испытанием сердечник размагничивался.

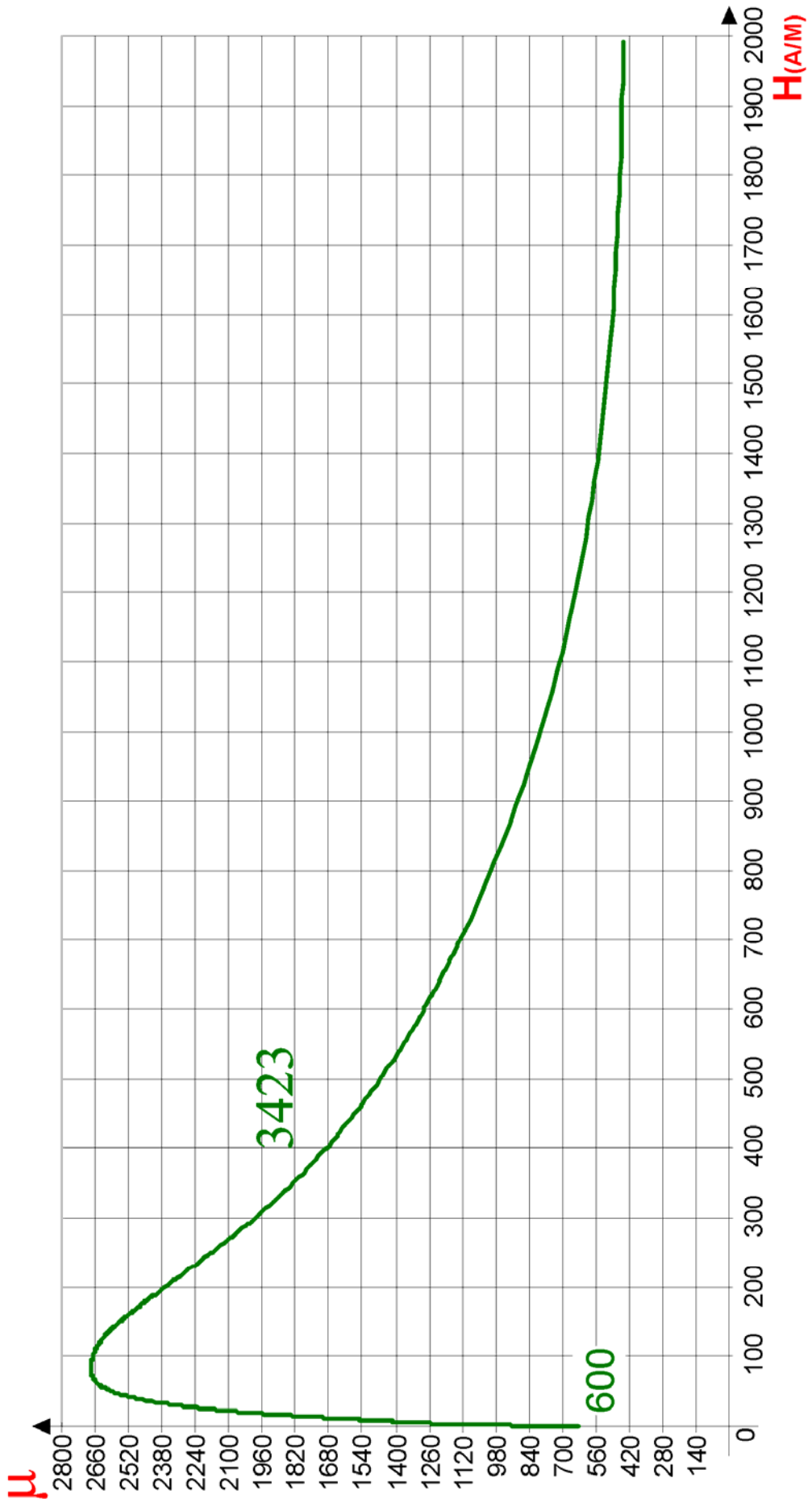
Ниже, в виде графиков приведены усредненные результаты измерений.



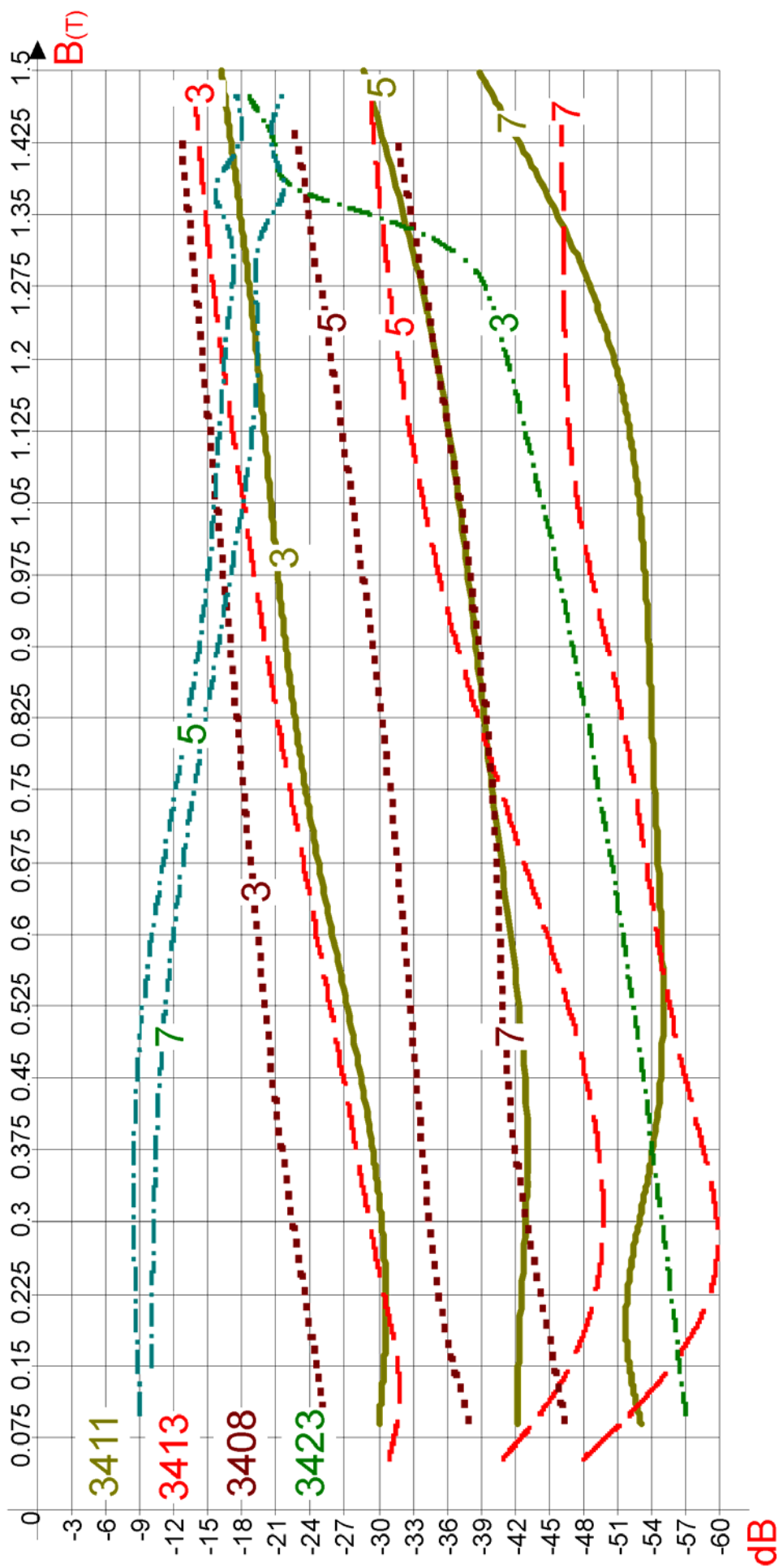
Основные кривые намагничивания



Зависимость магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля



Зависимость магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля



Зависимость уровня гармоник от величины магнитной индукции