

Определение коэффициента передачи по напряжению в каскадном трансформаторе

Петренко Михаил Павлович

Физический факультет. Электромагнитный практикум. Курсовая работа.

Группа № 18345, 3 семестр, 2019 год.

Научный руководитель:

Гончаров Анатолий Данилович

Аннотация

Целью работы является изучение коэффициента передачи в каскадном трансформаторе, используемом для разгона электронного пучка до энергий в 2.5МэВ в установке электронного охлаждения, которая используется в коллайдере NICA.

Расчёт производился методом гармонического анализа.

На рабочей частоте 23.2кГц коэффициент передачи по напряжению на 1-ой гармонике для 3-х каскадного прототипа $K=0.961$, в пересчёте на 1 каскад для секции это $K=0.986$, соответственно для 42 каскадов $K=0.573$.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра общей физики

Петренко Михаил Павлович
КУРСОВАЯ РАБОТА

**Определение коэффициента передачи по напряжению в каскадном
трансформаторе**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа № 18345

Научный руководитель:

к.т.н. Гончаров А.Д.

Оценка научного руководителя

« _____ » _____ 20__ г.

Преподаватель практикума

к.т.н. Симонов А.А.

Оценка преподавателя практикума

« _____ » _____ 20__ г.

Куратор практикума:

к.т.н. Астрелин В.Т.

Итоговая оценка

« _____ » _____ 20__ г.

Новосибирск, 2019 г.

Аннотация

Целью работы является изучение коэффициента передачи в каскадном трансформаторе, используемом для разгона электронного пучка до энергий в 2.5 МэВ в установке электронного охлаждения, которая используется в коллайдере NICA.

Расчёт производился методом гармонического анализа.

На рабочей частоте 23.2 кГц коэффициент передачи по напряжению на 1-ой гармонике для 3-х каскадного прототипа $K=0.961$, в пересчёте на 1 каскад для секции это $K=0.986$, соответственно для 42 каскадов $K=0.573$.

Оглавление

Введение	4
Теоретическая часть	4
Описание трансформатора	4
Энергопотребление высоковольтной колонны	5
Конструкция каскадного трансформатора	6
Экспериментальная часть	8
Методика измерений	8
Результаты эксперимента	10
Заключение	12
Список Литературы	13

Введение

Каскадный трансформатор используется для распределения энергии по секциям высоковольтной колонны в установке электронного охлаждения в коллайдере NICA.

Целью работы является изучение коэффициента передачи по напряжению и мощности потерь в каскадном трансформаторе.

На вход трансформатора подаётся не идеальная синусоида, а сигнал создаваемый реальным мощностным генератором квазисинусоидальной формы. Поэтому коэффициент передачи по напряжению (K) нельзя определить как $K = \frac{U_{load}}{U_{in}}$.

В данной работе применялся метод гармонического анализа, в котором входной и выходной сигналы раскладываются в ряд Фурье, а коэффициент считается только для определённых гармоник.

Теоретическая часть

Описание трансформатора

Система электронного охлаждения с энергией 2.5МэВ для коллайдера NICA будет использовать каскадный трансформатор для распределения мощности по секциям высоковольтной колонны и передачи мощности высоковольтному терминалу.

Коллайдер NICA спроектирован для управления ионными пучками с энергиями до 4.4ГэВ. Для увеличения времени жизни и эффективности запасаения ионов в коллайдере электронная охлаждающая система должна обеспечивать электронные пучки энергией 2.5МэВ. Спроектированная электронная охлаждающая система использует магнитное поле, направляющее электронный пучок вдоль транспортного канала, в том числе

по высоковольтной колонне. Основное потребление энергии высоковольтной колонны составляют магнитные катушки и источники энергии для коллектора электронов.

Существуют несколько способов передачи электрической энергии в области высокого напряжения. Методики, включающие передачу механической энергии, не подходят для нового электронного охладителя, так как для некоторых из них требуют больше места, привлекают за собой накладные расходы по энергии или могут быть нестабильными. Вместо этого электронная охлаждающая система будет использовать каскадный трансформатор с высоким коэффициентом передачи между каскадами, которые передают энергию от секции к секции через изолированные обмотки.

Одна высоковольтная колонна включает 2 каскадных трансформатора, каждый по 42 секции – для передачи энергии к высоковольтному терминалу и распределения энергии по секциям колонны.

Энергопотребление высоковольтной колонны

Каждая секция высоковольтной колонны имеет 2 катушки для создания продольного поля в 500Г для фокусировки электронов. Энергопотребление 1 катушки около 100Вт. Электроника в секции в сумму добавляет ещё 220Вт. Так же энергию потребляет высоковольтный терминал, он включает 10 кВт источник энергии для коллекторного выпрямителя и соленоид на 5кВт для фокусировки электронных пучков с низкой энергией.

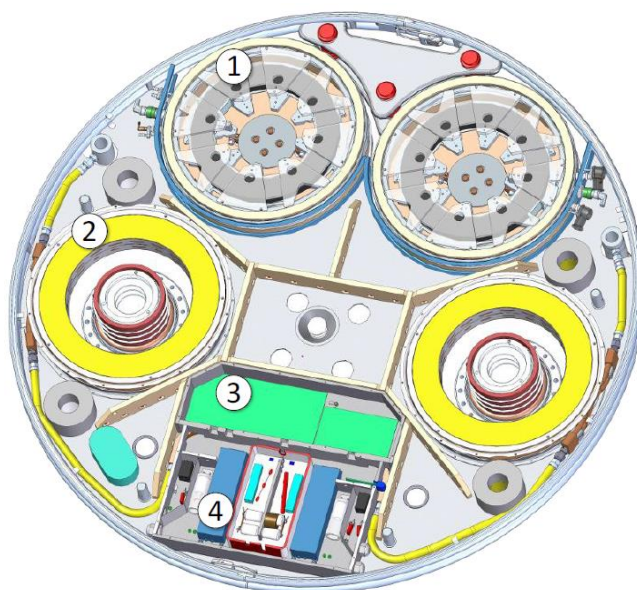


Рис2. Секции высоковольтной колонны: (1) кольцо каскадного трансформатора, (2) магнитная катушка для создания направляющего поля в ускоряющей трубе, (3) управляющая схема, (4) высоковольтный источник.

Магнитные катушки в секции	220Вт
Высоковольтный источник секции	120Вт
Управляющая схема	100Вт
Коллекторный выпрямитель	10кВт
Управляющая схема высоковольтного терминала	700Вт
Магнитные катушки высоковольтного терминала	5кВт
Секция высоковольтной колонны	17.6кВт
Высоковольтный терминал	15.7кВт

Конструкция каскадного трансформатора

Каскадный трансформатор состоит из 42 секций, стоящих одна над другой на расстоянии 6.4 см. Для предотвращения перегрева трансформатора во время его работы он помещён в маслянно-охлаждаемый бак. Так как напряжение между соседними секциями трансформатора достигает 60кВ, бак составлен из чередующихся изолирующих керамических колец и защитного металла.

Каждая секция включает кольцевой магнитопровод, обмотка для передачи энергии и набор ёмкостей для компенсации индуктивности рассеяния. Одна

серия обмоток используется для приёма электрической энергии от прошлой секции трансформатора, а другая для передачи энергии к следующей секции. Так как напряжение между этими парами обмоток достигает 60кВ, необходимо добавить изолирующее пространство между ними так же, как и между обмотками и магнитопроводом. Эти пространства приводят к индуктивности рассеивания, которая может быть скомпенсирована добавлением конденсаторов к передающим обмоткам.

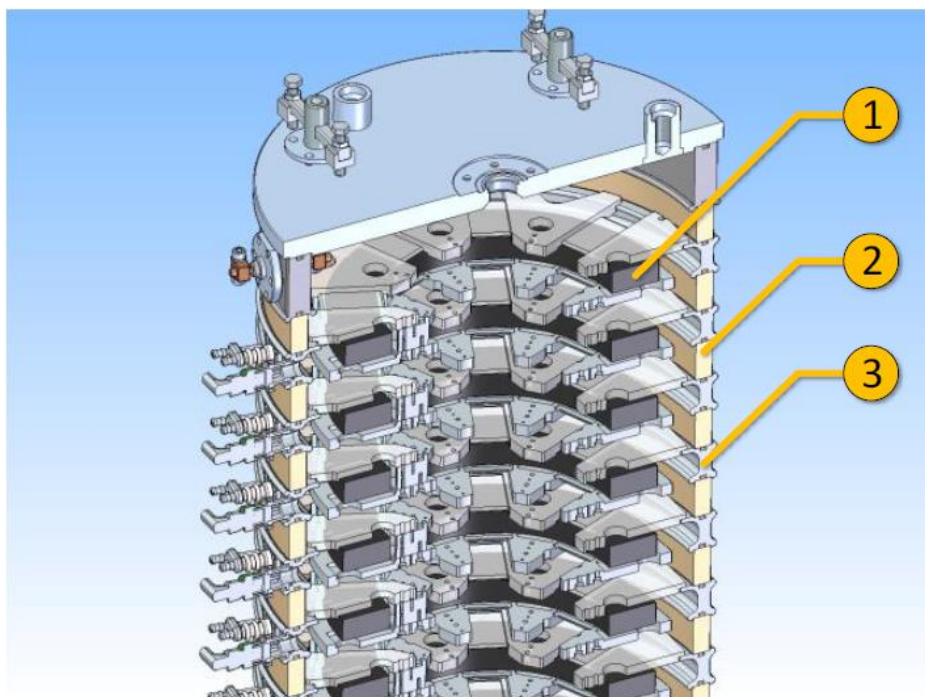


Рис2. Конструкция каскадного трансформатора (для простоты, обмотки и другие электрические компоненты не показаны): (1) секция каскадного трансформатора, (2) керамическое кольцо для изоляции примыкающей секции, (3) дюралевые щиты

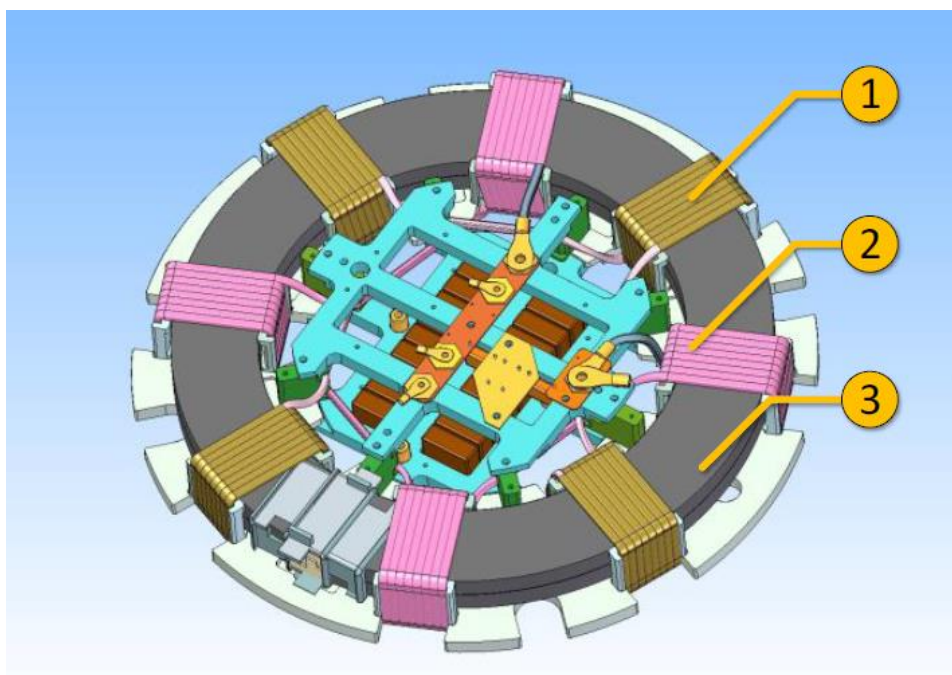


Рис4. Конструкция секции каскадного трансформатора: (1) обмотки для приёма электрической энергии с прошлой секции трансформатора, (2) обмотки для передачи энергии к следующей секции, (3) магнитопровод

Экспериментальная часть

Методика измерений

Для подтверждения конструкционных параметров каскадного трансформатора, был протестирован трёхсекционный прототип (Рис 5.)
Изучаемый параметр – коэффициент передачи по напряжению.

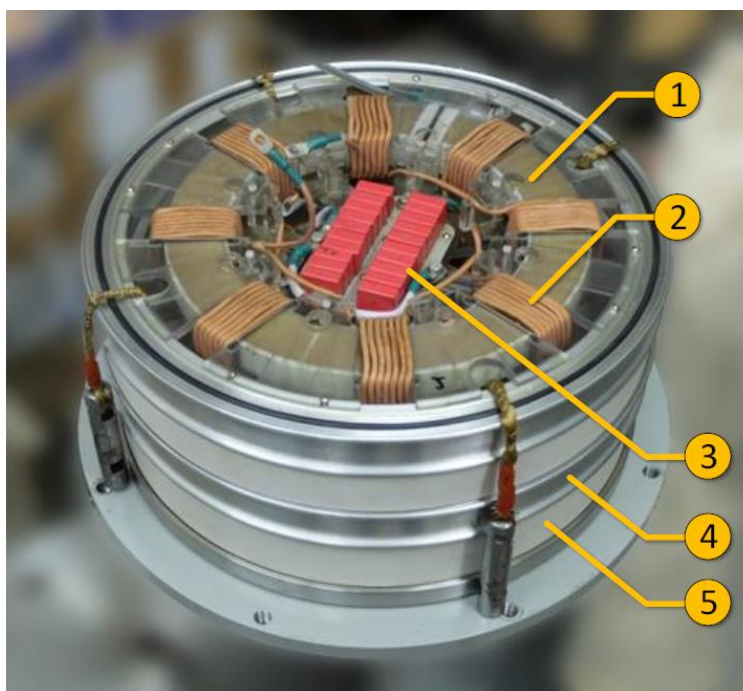


Рис 5. Трёхсекционный прототип каскадного трансформатора: (1) магнитопровод, (2) обмотки, (3) конденсаторы для компенсации индуктивности рассеяния, (5) керамические кольца для изоляции прилегающих секций.

Каскадный трансформатор может быть представлен эквивалентной цепью (Рис 6.). Рабочая частота трансформатора выбрана так, что конденсаторы подключенные к обмотке секции, компенсируют реактивное сопротивление вызванное индуктивностью рассеяния.

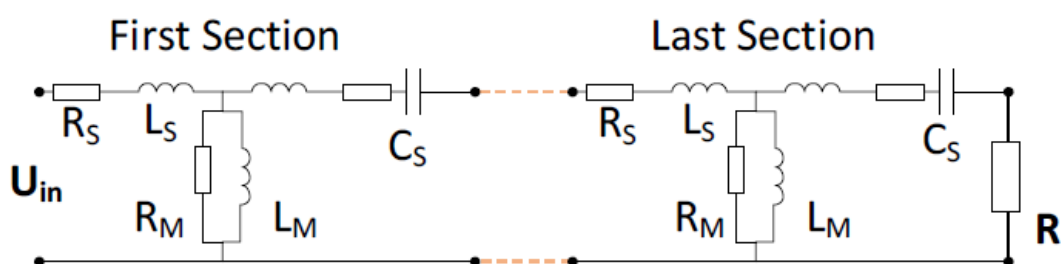


Рис 6. Эквивалентная цепь каскадного трансформатора: (L_M) индуктивность намагничивания, (R_M) нагрузка представляющая потери на перемагничивание магнитопровода, (R_s) потери в обмотках, (L_s) индуктивность рассеяния, (C_s) конденсатор для компенсации индуктивности рассеяния, (U_{in}) входной сигнал, (R) активная нагрузка трансформатора.

Где индуктивность рассеяния (leakage inductance) — это измеримое количество индуктивности, не связанной с сердечником или с другой

обмоткой. Она выступает неким подобием отдельного индуктора, включенного последовательно с проводом обмотки.

При измерениях проводится сканирование по частоте и фиксируются 3 параметра (f – частота, U_1 – напряжение на входе трансформатора, U_2 – напряжение на нагрузке).

Так как форма напряжения генератора отличается от синусоидального (на вход поступает квазисинусоидальный сигнал), коэффициент передачи по напряжению для резонансного четырёхполюсника не может быть получен прямым способом, $K = \frac{U_{load}}{U_{in}}$, т.е. как отношение действующих напряжений на нагрузке к действующему напряжению на входе четырёхполюсника при номинальном рабочем токе нагрузки 40А., а анализируется по осциллограммам напряжений, полученных опытным путём, с использованием определённых методик на рабочей частоте 23.2кГц.

В данной работе коэффициенты K вычислялись методом гармонического анализа (Fitting) в Origin.

Он состоит в том, что сигнал раскладывается в ряд Фурье и находится коэффициент передачи для первой гармоники.

Общий вид ряда Фурье для периодической функции

$$A + A_1(\sin\omega x) + B_1(\cos\omega x) + \dots + A_n(n\sin\omega x) + B_n(ncos\omega x)$$

Результаты эксперимента

На вход поступает квазисинусоидальный сигнал - имеется полка, говорящая о том, какие-то гармоники вносят вклад в сигнал (Рис. 8)

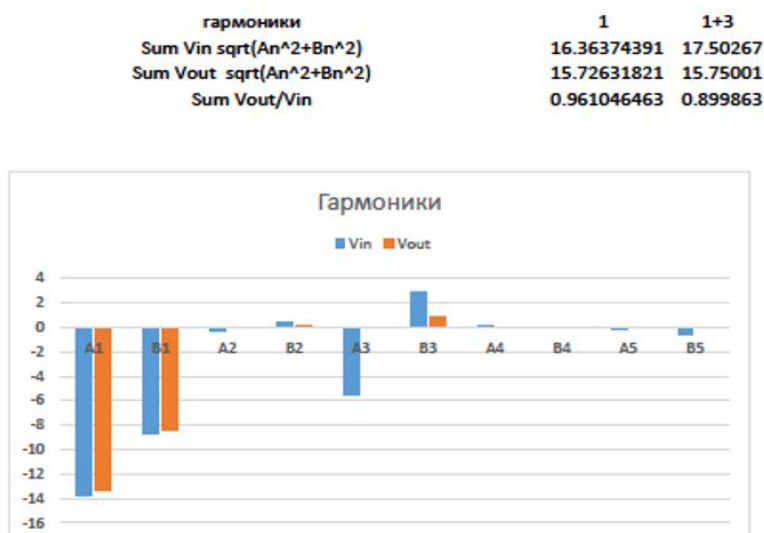


Рис. 7: Коэффициенты Фурье для входного сигнала

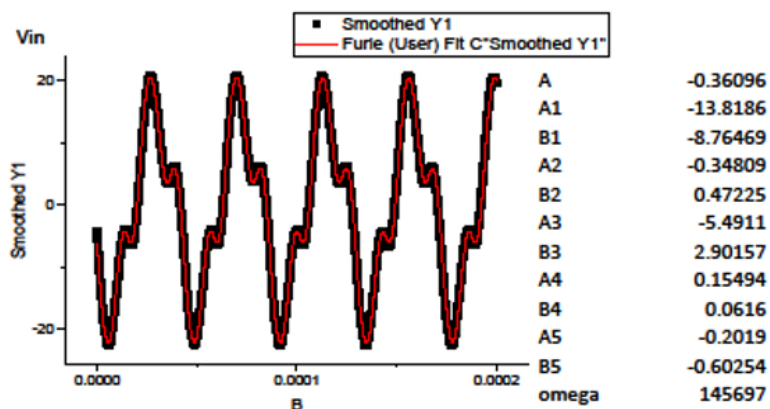


Рис. 8.1: Вычисление коэффициента передачи методом гармонического анализа

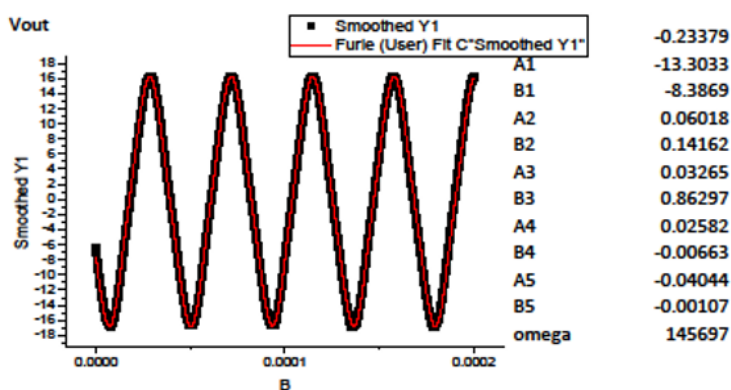


Рис. 8.2: Вычисление коэффициента передачи методом гармонического анализа

Из коэффициентов Фурье видно, что значительный вклад вносят первая и третья гармоники (Рис. 7). Для расчёта коэффициента передачи используется

только первая гармоника, так как при изменении формы сигнала коэффициент первой гармоники будет определять передачу напряжения.

Для установки из 3х каскадов коэффициент получился равным 0.961. Он равен K^3 , где K – коэффициент передачи для 1 секции, $K = 0.986$, для 42х секций он составит $K^{42} = 0.572$.

Этот результат хорошо совпадает с уже имеющимся результатом, вычисленным по первой и третьей гармоникам, который равен 0.899 для 3х секций.

Заключение

Были обработаны экспериментальные данные методом гармонического анализа и получены следующие результаты: на частоте 23.2кГц вычисленный коэффициент передачи на 1-ой гармонике для 3-х каскадов $K_u = 0.961$, соответственно для 42 каскадов $K_u = 0.573$.

Эти результаты с хорошей точностью совпали с уже имеющимися, полученными другим методом.

Список Литературы

1. A. P. Denisov, M. I. Bryzgunov, A. D. Goncharov, V. V. Parkhomchuk, V. B. Reva, D. N. Skorobogatov. The cascade transformer for the high-voltage electron cooling system for the NICA collider
2. A. Kovalenko et al., “Status of the NICA project at JINR”, EPJ Web Conf, vol. 191
3. A. P. Denisov, “Cascade transformer based on the volume coil for power transmission under high voltage”