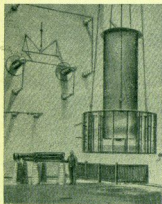


Длина волны равнялась 50 м. Ток в пучке ускоряемых электронов достигал 5 ма. В другом случае были достигнуты напряжение до 850 кв и ток 0,3 ма.

2-5. КОНСТРУКЦИИ РЕЗОНАНСНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Конструкции резонансных трансформаторов на различные напряжения с воздушной изоляцией весьма похожи друг на друга. Первичная и вторичная катушки обычно из-



Фиг. 2-26. Резонансный трансформатор с воздушной изоляцией на 1 200 кв.



Фиг. 2-27. Резонансный трансформатор с воздушной изоляцией на 1 250 кв.

готовляются однослойными. Первичная катушка часто изготавливается в виде цилиндра или конуса, поставленного на срезанную вершину. Вторичная катушка изготавливается в виде цилиндра.

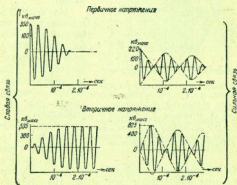
На фиг. 2-26 изображена установка на 1 200 кв, на фиг. 2-27 — установка на 1 250 кв.

Коэффициент связи ($K = M/\sqrt{L_1 L_2}$) в этих установках невелик и изменяется в пределах 5—25%. Это дает воз-

возможность получать во вторичной цепи колебания с малым затуханием.

При сильной связи колебания во вторичной цепи имеют резко выраженные биения.

На фиг. 2-28 изображены формы кривой напряжения во вторичной обмотке при сильной и слабой связи. Форма кривой напряжения, получаемая при сильной связи между кон-



Фиг. 2-28. Форма кривой напряжения во вторичной обмотке при сильной и слабой связи контуров.

турами и наличии биений, непригодна для тех испытаний изоляции, где требуются затухающие колебания. Коэффициент связи обычно меняют перемещением первичной обмотки относительно вторичной, а затухание — включением специальных демпфирующих (успокоительных) сопротивлений в первичную цепь. В трансформаторах с воздушной изоляцией по достижении некоторого напряжения начинаются разряды со вторичной обмотки на окружающие предметы. Поэтому было предложено для повышения рабочего напряжения установки поместить вторичную катушку в среду электрически более прочную, чем воздух.

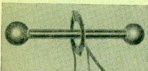
На фиг. 2-29 представлена схема такой установки. Обмотка высшего напряжения помещена в бакелитовый цилиндр из тетинакса и залита парафином. Наличие кожуха

из изолирующего материала устраняет тяжелую и трудно технически разрешимую проблему проходного изолятора.

В современных конструкциях резонансных трансформаторов нашла себе применение масляная и газовая изоляции.

На фиг. 2-30 даны первичная и вторичная обмотки трансформатора с масляной изоляцией. Размеры всего устройства благодаря применению масла в качестве изолирующей среды удалось сильно уменьшить. Диаметр вторичной обмотки равен 8 см, а длина ее — 100 см, число витков достигает 5 000—

7 000. На концах вторичной обмотки для предотвращения коронирования закреплены два шара. Первичный контур питался от высоковольтного трансформатора напряжением 70 кВ через механический выпрямитель.



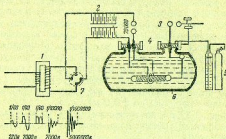
Фиг. 2-30. Первичная и вторичная обмотки резонансного трансформатора на 5 000 кВ с масляной изоляцией под давлением до 30 ат.

Для повышения электрической прочности масла в баке можно создать повышенное давление. Результаты опытов оказались достаточно успешными. На установке, схема которой изображена на фиг. 2-31, при давлении в баке, равном 1 ат, было получено напряжение на полюсах вторичной обмотки

до 3 200 кВ, а при давлении 30 ат — до 5 000 кВ.

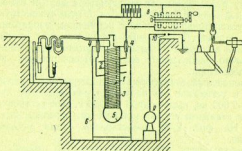
На фиг. 2-32 представлена схема установки резонансного трансформатора, помещенного в масло. Установка была описана А. С. Попковым в 1935 г.

Кожухом трансформатора служит изолитовый бак 6 диаметром 750 мм и высотой 1 800 мм. Обмотка низшего напряжения 2 — из трех витков диаметром 600 мм. Сквозь



Фиг. 2-31. Схематическое изображение резонансного трансформатора на 5 000 кв с масляной изоляцией под давлением 30 атм.

1—трансформатор; 2—конденсатор; 3—искровой промежуток; 4—проводной изолятор; 5—вспомогательный резервуар; 6—главный резервуар; 7—выпрямитель.



Фиг. 2-32. Схема резонансного трансформатора на 2 500 кв с масляной изоляцией (по Попкову).

крышку бака проведены вводы 4. Обмотка высшего напряжения 3 наматывалась на изолитовые цилиндры длиной 100—1 300 мм и диаметром 150—250 мм. Число витков провода ПБД-0,5, образующих вторичную катушку, состав-

ляло около 2 000. В первичный контур включалась емкость 7 около 2 мкф, работавшая при напряжениях до 35 кВ.

Так как при большом разрядном токе шаровой разрядник в первичном контуре быстро обгорает, то применялся вращающийся разрядник 8. Меняя величину и число искровых промежутков во вращающемся разряднике, регулировали напряжение на первичной стороне трансформатора; оно измерялось при помощи емкостного потенциометра, состоявшего из шара 5, соединенного с высоковольтным концом обмотки диаметром 250 мм и шарового разрядника 10.

При диаметре вторичной обмотки, равном 120 мм, и диаметре шара 5, равном 150 мм, получали напряжение на высоковольтном конце до 2 500 кВ.

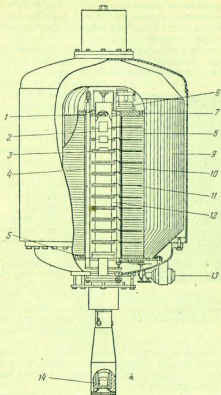
На фиг. 2-32 видно также насосное устройство для откачки разрядной трубки, встроенной во вторичную обмотку трансформатора.

Основное применение высокого напряжения в современной ядерной физике — ускорение заряженных частиц.

Исходя из решения этой задачи, в Сибирском физико-техническом институте М. И. Корсунским и А. С. Матвеевым в 1933 г. было предложено располагать вторичную обмотку резонансного трансформатора внутри самой ускорительной evacuated трубки. Мысль о конструктивной связи ускорительной трубки с источником напряжения оказалась удачной. В настоящее время, помещая источник напряжения в сосуд с газом при повышенном давлении, трубку обычно располагают внутри высоковольтной катушки трансформатора.

Резонансный трансформатор конструктивно удачно применен в установке для получения рентгеновских лучей на 1 000—2 000 кВ, выпущенной в 1939 г. Вся установка помещена в стальной сосуде, наполненном фреоном под давлением. На фиг. 2-33 представлена схема установки на 1 000 кВ.

Низковольтная обмотка резонансного трансформатора выполнена из медной полосы 12. Высоковольтная обмотка 11 состоит из 120 тонких плоских секций, которые в целях вентиляции обмотки отделены друг от друга промежутками. Размещение рентгеновской трубки внутри высоковольтной обмотки облегчило выполнение соответствующих соединений с различными электродами трубки. Преимущества такой конструктивной связи были уже указаны выше. Ниж-



Фиг. 2-33. Схема устройства рентгеновской установки на 1 000—2 000 кэ; изоляция — сжатый фреон.

1—катод рентгеновской трубки; 2 и 3—промежуточные электроды рентгеновской трубки; 4—стеклянный стягивающий болт; 5—первичная обмотка; 6—дроссель регулировки накала; 7—обмотка накала; 8—вторичная обмотка; 9—стальное ядро; 10—изолирующий привод дросселя накала; 11—вывод промежуточного электрода; 12—стеклянная оболочка рентгеновской трубки; 13—двигатель привода регулировки накала; 14—анод рентгеновской трубки.

ний конец обмотки заземлен. Количество витков высоковольтной обмотки выбрано из условий резонанса при 180 гц. Верхний конец высоковольтной обмотки присоединен к медному полусферическому колпаку.

Для уменьшения индукционных потерь в стенках стального сосуда, находящегося в поле высокой частоты, он с внутренней стороны имеет особые подкладки 2 и 13, выполненные из ряда узких

полос кремнистой стали (8, 1 и 13). Полоски стали электрически изолированы друг от друга и образуют магнитный экран.

На фиг. 2-34 представлена фотография рентгеновской установки на 1 000 кэс с применением резонансного трансформатора.

Высоковольтная обмотка резонансного трансформатора служит для генерирования высокого напряжения и установления принудительного распределения потенциала вдоль оси рентгеновской трубки. Она же электростатически экранирует трубку от заземленного кожуха сосуда и механически поддерживает полусферический колпак, расположенный в верхней части обмотки.

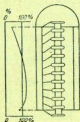
После размещения трубки внутри обмотки удалось уменьшить диаметр сосуда трансформатора на 62%, а объем — на 38% сравнительно со случаем, когда трубка располагалась вне обмотки.

Высота установки определилась длиной трубки. Путем присоединения выравнивающих электродов к отдельным участкам высоковольтной обмотки удалось, как это видно на фиг. 2-35, добиться довольно равномерного распределения падения напряжения по длине трубки. Во вторичной цепи получается значительная мощность и поддерживается неизменным напряжение 1 000 кэс при потреблении трубкой

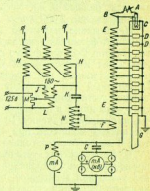


Фиг. 2-34. Общий вид резонансного трансформатора рентгеновской установки на 1 000—2 000 кэс.

до 10 ма выпрямленного тока. Во вторичной цепи ток может доходить до 76 ма. Схема электрических соединений установки представлена на фиг. 2-36. Вторичная обмотка не имеет стального сердечника. Ее индуктивность и распределенные емкости относительно кожуха образуют колебательный контур с собственной частотой около 180 гц. Питание установки осуществляется трехфазным током частотой 60 гц при напряжении 220 в. При помощи утроителя частоты H получается однофазный ток 180 гц при напряжении 230 в. Питание первичной обмотки регулируется посредством реактора с насыщающимся сердечником и автотранс-



Фиг. 2-35. Распределение потенциала вдоль оси рентгеновской установки на 1 000—2 000 кв.



Фиг. 2-36. Электрическая схема резонансного трансформатора для рентгеновской установки на 1 000—2 000 кв.

форматора. Ток накала трубки подводится к точке B и регулируется при помощи индуктивного сопротивления A , реверсивного двигателя фрикционной передачи и изолированного стержня δ , проходящего через соответственный выполненный сальник.

Реактор с насыщающимся сердечником (фиг. 2-36) регулирует величину тока в первичной обмотке. Мощность, получаемая от утроителя частоты, ограничена высоким внутренним реактивным сопротивлением контура при 180 гц. Конденсатор K включен для улучшения коэффициента мощности.

Изменяя величину постоянного тока в обмотке насыщения L при помощи потенциометра M , снижают переменный ток в реакторе и повышают отдачу утроителя. Ток через трубку регулируется изменением тока накала нити, а напряжение — автотрансформатором N . При помощи потенциометра M , изменяющего величину постоянного тока в обмотке насыщения реактора, напряжение на трубке плавно изменяется с 300 до 1000 кВ. При этом устанавливается ток эмиссии, равный 3 мА. Установка может быть включена и на напряжение 2000 кВ.

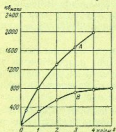
Напряжение холостого хода трансформатора является линейной функцией тока зарядки емкости вторичной обмотки. На фиг. 2-36 видно, что нижний конец обмотки ее заземлен через измерительный контур. Миллиамперметр измеряет электронный ток, идущий на анод рентгеновской трубки. Переменный ток проходит через емкость C , выпрямительное устройство и миллиамперметр постоянного тока, градуированный в киловольтах. Мощность утроителя частоты, питающей установку, 10 кВт. Практически потребляемая установкой мощность при 180 гц, напряжении 1000 кВ и токе 3 мА составляет только 3600 вт.

В рентгеновских установках на напряжение 1 млн. в применена секционированная трубка, имеющая 12 ступеней ускорения электронов, а в установке на 2 млн. в трубка имеет 24 секции-ступени ускорения. Каждая ступень дает ускорение 83,5 кВ. Такую трубку удалось выполнить благодаря применению колец из металлического сплава «Феррико», представляющего собой специальный сплав из железа, никеля и кобальта, коэффициент линейного расширения которого равен коэффициенту расширения стекла. Кольца из этого металла соединяют между собой отдельные стеклянные секции рентгеновской трубки и дают равномерное распределение напряжения по поверхности стекла.

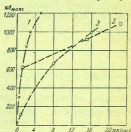
Газ фреон для заполнения установки поступал из сосуда, содержащего жидкий фреон (дихлордифторметан). Перед наполнением фреоном из системы предварительно выкачивался воздух и создавалось разрежение 70 мм рт. ст. Затем открывался кран, сообщаящий систему с сосудом 26, и, подогревая последний, повышали давление в установке до 18 кг/см² (при закрытом кране). При необходимости вскрыть установку газ предварительно откачивали в запасный бак. Фреон не имеет запаха и не ядовит. При

соприкосновении с открытым пламенем он разлагается и дает фосген.

На фиг. 2-37 изображена зависимость пробивного напряжения от давления для фреона *A* и азота *B*. Испытание производилось на высокой частоте при помощи того же резонансного трансформатора. На фиг. 2-38 представлена зависимость пробивного напряжения на переменном 60-периодном токе от давления для фреона — кривая 1, масла — кривая 2 и азота — кривая 3. Данные получены при пробое



Фиг. 2-37. Зависимость пробивного напряжения фреона *A* и азота *B* от давления на высокой частоте.



Фиг. 2-38. Зависимость пробивного напряжения на переменном токе (60 гц) от давления. 1 — фреона; 2 — масла; 3 — азота.

между высоковольтным электродом и внутренней поверхностью бака. Величина разрядного промежутка 10 см.

Как видно из фиг 2-37 и 2-38, пробивное напряжение для фреона на высокой и промышленной частоте в 2,5 раза превышает пробивное напряжение для азота. В области высоких давлений пробивное напряжение для фреона превышает пробивное напряжение для масла.

Так, под давлением 45 кг/см² фреон имеет такое же пробивное напряжение, как масло под давлением 540 кг/см².

Под действием короны фреон разлагается с выделением хлора и фтора, что разрушающе действует на установку. Однако этого явления в установке не наблюдалось вплоть до напряжений 1 200 кв.

Установка на 1—2 млн. в занимает объем 2 м³. Мощность ее достигает 4 квт, т. е. удельная мощность составляет 2 квт/м³. Металлический герметически закрытый сосуд,

в котором помещена вся установка, имеет диаметр 1,5 и длину 2,4 м. Вес установки 2,26 т. Вся установка подвешена к крану и доставляется к анализируемой детали.

Повышение жесткости рентгеновских лучей значительно сокращает время, необходимое для просвечивания. Например, повышение напряжения на рентгеновской трубке с 400 до 1 000 кВ приводит к уменьшению экспозиции с 3 час. до 2 мин. Повышение напряжения с 1 000 до 2 000 кВ приводит к дальнейшему уменьшению экспозиции в 78 раз. Для получения рентгеновского снимка стальной отливки толщиной 203 мм при напряжении на трубке 1 млн. в требовалось 4,5 часа, а при напряжении 2 000 кВ — только 3,5 мин.

Производить рентгенографию отливок толщиной 30 см при помощи установки на 1 млн. в практически уже невозможно, а при напряжении 2 млн. в на расстоянии 1 м от выходного конца трубки получают удовлетворительные снимки при экспозиции в течение 2 час.

Рентгенограммы, снятые при помощи аппарата на 2 млн. в, позволяют оценивать размеры дефектов с точностью 1—2% в стальных отливках толщиной от 2 до 25 см.

Рентгенографирование лучами жесткостью 2 млн. в имеет еще то преимущество, что, помещая объект на большое расстояние, можно облучать сразу большую поверхность детали. Мощность и большая жесткость излучения позволяют производить снимки на большом расстоянии от трубки и при сравнительно малой экспозиции, что дает более четкий снимок и уменьшает искажения. При рентгенографировании изделий разной толщины приходится соответственно изменять экспозицию. Если в одном и том же предмете имеются участки различной толщины, то при рентгенографировании приходится приводить их к одной толщине путем наращивания. При рентгенографировании лучами жесткостью 1 млн. в и особенно 2 млн. в необходимость в таком наращивании почти отпадает.

Прекрасные рентгенограммы получаются и с образцов, имеющих детали из материалов с различной поглощательной способностью.

Рентгеновская дефектоскопия имеет большие преимущества перед дефектоскопией при помощи γ -лучей радия. Например, просвечивание 12-сантиметровой броневого

стальной плиты для обшивки корабля при помощи γ -лучей радия требует 4 часа. Рентгеновские лучи жесткостью 1 млн. э дают удовлетворительное решение этой задачи в течение 10 мин.

В настоящее время рентгеновские лучи большой жесткости получают при помощи ускорительных установок — бетатрона, линейного ускорителя, синхротрона и др.

Если ускорять заряженные частицы при помощи резонансного трансформатора, то их скорости в пучке получаются различными. Поэтому резонансный трансформатор, дающий затухающее переменное напряжение, не нашел применения в ядерной технике.

Еще существует конструкция резонансного трансформатора для испытания изоляции электрических машин (описано в другой литературе).

Взято из книги:

"Сверхвысокие электрические напряжения"

Воробьев А.А.

1955 год

Файл изготовлен для популяризации сайта vedomo.ru по энергетическим установкам на природных источниках энергии и модернизации экономики.