

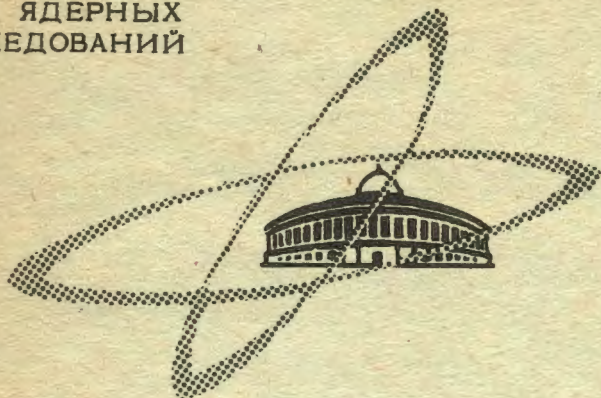
Г- 788

3/IX-68

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

13 - 3892



А.Г.Грачев

ИНДУКЦИОННЫЙ ГЕНЕРАТОР

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1968

13 - 3892

7406/2 чр.

А.Г.Грачев

ИНДУКЦИОННЫЙ ГЕНЕРАТОР

Объединенный институт
ядерных исследований
СЕРБИЯ

Введение

В Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований построена модель кольцевого фазотрона. В этой модели для ускорения электронов использовано вихревое электрическое поле, получающееся при изменении магнитного потока в специальном железном сердечнике. Для получения переменного магнитного потока в этом сердечнике потребовался генератор, который должен был обеспечить при частоте 500 герц максимальное изменение магнитного потока в $6 \cdot 10^5$ максвелл. При разработке генератора было найдено целесообразным использовать принципиальную схему автономного инвертора, исключающего изготовление высоковольтного источника питания и позволяющего получить необходимые изменения магнитного потока в сердечнике ускорителя.

Ниже дается описание индукционного генератора и приводится простой инженерный метод расчета колебательного контура этого генератора;

Схема индукционного генератора

Обозначения в схеме:

- 1 - тиратроны типа TP1-40/15
- 2 - сердечник ускорителя с высоковольтной обмоткой
- 3 - емкость колебательного контура
- 4 - разделительный дроссель
- 5 - силовой щиток стойки индукционного генератора
- 6 - дроссели насыщения
- 7 - демпфирующие RC цепочки генератора

- 8 - накальные трансформаторы
- 9 - задающий RC генератор
- 10 - ограничивающие сопротивления
- 11 - источник питания RC генератора с источником смещения на сетке тиратронов.

Схема индукционного генератора приведена ниже. Эта схема в своем принципе ничем не отличается от схемы независимого инвертора, если не считать, что в анодном трансформаторе последнего отсутствует вторичная обмотка и нагрузкой генератора является только железный сердечник. Однако отсутствие вторичных нагрузочных цепей в схеме независимого инвертора вносит некоторое качественное отличие в его работу. Практически это отличие, относящееся в основном к значительному увеличению развития колебательного процесса в схеме, не опровергает, а, наоборот, подтверждает правильность анализа работы независимых инверторов /1,2,3,4/. В связи с этим нами будет рассмотрена только работа независимого инвертора в качестве индукционного генератора.

В отличие от обычного инвертора индукционный генератор является установкой, предназначенной для генерации высоковольтных переменных напряжений, обеспечивающих получение заданных амплитудных значений переменного магнитного потока в железном сердечнике его колебательного контура. Такая особенность индукционного генератора связана с отсутствием вторичных нагрузочных цепей в контуре. Отсутствие вторичных нагрузочных цепей в колебательном контуре позволяет получить в нем амплитуды переменного напряжения, превышающие напряжение источника питания до сотни раз и больше.

Высокие напряжения на контуре генератора, в свою очередь, обуславливают особые требования ко всем элементам и параметрам генератора. Если в обычном инверторе коммутация тиратронов с заданной частотой может происходить входными импульсами RC генератора (9), сдвинутыми на 180° , без жестких требований к их длительности, то в индукционном генераторе они должны быть очень узкими. Чем меньше длительность поджигающих импульсов на сетках тиратронов, тем лучше в определенных пределах условия деионизации тиратронов и больше их вентиль-

ная прочность. В приведенном на рисунке индукционном генераторе выходной пушпульный усилитель РС генератора (9) нагружен на специальный пик-трансформатор, который формирует из синусоидальных колебаний острые поджигающие импульсы, подаваемые через ограничивающие сопротивления (10) на сетки тиратронов (1). Не меньшее значение для уменьшения времени деионизации в этой схеме имеет подбор отрицательного напряжения смещения, подаваемого на сетки тиратронов. В изготовленном варианте генератора это смещение равно - 246 вольтам и полагается на сетки тиратронов через среднюю точку выходной обмотки выходного пик-трансформатора РС генератора.

В рабочем режиме на колебательном контуре генератора могут развиваться переменные напряжения амплитудой до 15 кв. При небольших длительностях удавалось развивать эти колебания до 22 кв. Получение еще больших амплитуд переменного напряжения на колебательном контуре ограничивалось вентильной прочностью использованных в индукционном генераторе тиратронов. Теоретически амплитуды переменного колебательного напряжения в генераторах такого типа, как показано в работе ^{1/}, могут стремиться к бесконечности. Условием получения бесконечно больших амплитуд переменного напряжения в колебательном контуре индукционного генератора является отсутствие потерь в нем. Практически изготовить колебательный контур без потерь невозможно, поэтому предельные значения переменных напряжений на колебательном контуре ограничены и определяются динамическим равновесием между потерями энергии в колебательном контуре и энергией, отбираемой генератором от источника питания. При включении индукционного генератора колебания носят развивающийся характер до достижения этого динамического равновесия.

Процесс накопления энергии в колебательном контуре генератора можно проследить по его принципиальной схеме. Допустим, что вначале поджигается левый триод генератора. В этом случае напряжение сети окажется мгновенно приложенным к левой части обмотки колебательного контура. В результате автотрансформаторной связи на всей обмотке колебательного контура будет индуцироваться напряжение, почти равное удвоенному значению напряжения источника питания. До этого же значения напряжения зарядится конденсатор (3) колебательного контура. Нарастание

этого напряжения будет происходить по экспоненте с постоянной времени заряда индуктивности колебательного контура. Если правый триод генератора поджечь в момент достижения максимального значения напряжения на конденсаторе (3), то правая часть обмотки (2) окажется под воздействием напряжения сети плюс удвоенное значение напряжения сети на конденсаторе. В результате этого энергия заряда индуктивности контура окажется почти удвоенной. С переключением второго тиратрона на первый произойдет следующий цикл накопления энергии колебательного контура от сети. С каждым дальнейшим циклом доля энергии, накапливаемой колебательным контуром от сети, будет уменьшаться и достигнет нуля при динамическом равновесии между потерями энергии в колебательном контуре и энергией, отбираемой контуром от сети. Как процесс накопления энергии в колебательном контуре, так и максимально достижимое напряжение на нем, являются функциями момента переключения тиратронов по отношению к времени достижения максимального напряжения на контуре. Чем ближе частота коммутации тиратронов к собственной частоте контура, тем ближе моменты переключения тиратронов к максимуму нарастания напряжения на контуре, и, следовательно, тем благоприятнее условия получения максимального напряжения на нем.

При изменении частоты переключения тиратронов форма напряжения на колебательном контуре меняется от формы, близкой к синусоидальной, до формы, близкой к треугольной. С уменьшением частоты коммутации тиратронов амплитуды напряжения на контуре уменьшаются, и при некоторой частоте происходит срыв работы генератора. Если период частоты коммутации генератора будет равен двум периодам резонансной частоты контура, то условия развития колебаний в контуре сохраняются, правда, колебания при этом получаются слабыми и не представляют практического интереса. Изготовленный генератор был рассчитан для работы на частоте 500 гц. Однако работоспособность его проверялась в диапазоне от 200 гц до 1200 гц. Верхняя граничная частота работы схемы, очевидно, может быть увеличена путем замены одной емкости колебательного контура на две, соединенные последовательно и заземленные через среднюю их точку. Своего рода особое назначение индукционного генератора

обуславливает и особые требования к его элементам. Прежде всего все элементы генератора, связанные с его колебательным контуром, должны иметь надежную высоковольтную изоляцию. Потери энергии в железе сердечника и меди обмотки, а также потери на рассеяние должны быть минимальными. Катушка же индуктивности, кроме этого, должна быть рассчитана на обеспечение лучшего использования вентильной прочности тигратронов генератора.

С учетом этих требований и были изготовлены рассматриваемые ниже элементы колебательного контура индукционного генератора.

Выбор сердечника и его конструкция

Важное значение для нормальной работы индукционного генератора имеет сердечник его колебательного контура. Чем меньше потери энергии в сердечнике, тем лучше условия развития колебательного процесса в контуре генератора.

Из электротехники известно, что удельные потери энергии в сердечниках из железа могут быть определены по экспериментальной формуле:

$$P_e = \left[\Sigma_h \frac{f}{100} + G_f \left(\frac{f}{100} \right)^2 \right] \left(\frac{B}{1000} \right)^2 \frac{BT}{кг}, \quad \text{где}$$

Σ_h - коэффициент потерь на гистерезис.

G_f - коэффициент потерь на токи Фуко.

При определенных значениях коэффициентов Σ_h и G_f и при заданной рабочей частоте эту формулу можно переписать в виде

$$P_e = K \left(\frac{B}{10000} \right)^2 \frac{BT}{кг},$$

где K - постоянная величина для выбранного сорта железа при заданной частоте работы генератора.

Из этого выражения видно, что при постоянной длине магнитопровода потери в железе сердечника прямо пропорциональны сечению сердечника и квадрату магнитной индукции. Т.к. увеличение сечения сердечника приводит к такому же уменьшению магнитной индукции, то сечение сердечника следует выбрать максимально возможным.

При $\cos \omega t = 0$ и заданном $\dot{\Phi}_m$ получим амплитудное значение для e .

Определив e_m , легко получить максимально допустимое число витков N контура индукционного генератора, т.к. произведение числа витков катушки L контура на падение напряжения на одном витке должно быть меньше допустимого рабочего напряжения $U_{\text{доп}}$ используемого в схеме тиратронов, т.е.

$$N e_m \leq U_{\text{доп.}}$$

Отсюда

$$N < \frac{U_{\text{доп.}}}{e_m} ,$$

Для $\Phi_m = 6 \cdot 10^5$ максвелл и $U_{\text{доп}} = 15$ кв получим, что

$$e_m = 18,8 \text{ вольт,}$$

$$N = \frac{15 \cdot 10^3}{18,8} = 795 \text{ виткам.}$$

Для обеспечения надежной работы индукционного генератора это значение витков следует уменьшить в несколько раз.

В изготовленном генераторе N было уменьшено в 5 раз и взято равным 160 виткам.

Зная число витков катушки N , размеры сердечника контура и рабочую частоту генератора, легко определить L и C по известным в электротехнике формулам:

$$L = \frac{1,26 \mu N^2 e}{e} 10^{-8} \text{ гн,}$$

$$C = \frac{1}{\omega_0^2 L} .$$

Индуктивность разделительного дросселя (4) (см. рисунок) была взята на порядок выше, а индуктивность дросселей насыщения (6), наоборот, на порядок меньше индуктивности колебательного контура.

При расчете генератора предполагали обойтись без специального охлаждения сердечника контура, однако при длительных сеансах работы сердечник довольно сильно нагревался, и поэтому пришлось его контур охватить несколькими витками 8-миллиметровой трубки и ввести водяное охлаждение. Тиратроны генератора после 3-4-часовой работы также стали давать срывы инвертирования.

Эти срывы были устранены охлаждением тиратронов с помощью двух обычных вентиляторов.

В заключение выражаю благодарность Н.И.Павлову и Юлиусу Цираку за их личную помощь и содействие в быстром изготовлении индукционного генератора.

Л и т е р а т у р а

1. А.С.Васильев, А.Е.Слухоцкий. *Ионные и электронные инверторы высокой частоты*, Госэнергоиздат, 1961.
2. А.С.Васильев. *Переходные процессы в ионном параллельном преобразователе*. Известия ЛЭТИ, т.35, 1958.
3. М.М.Акодис. *Наращение обратного напряжения в цепях с ионными вентилями*.
4. И.Л.Каганов. *Электронные и ионные преобразователи, т. III*, Госэнергоиздат, 1957.
5. В.В.Вологдин, А.Е.Слухоцкий. *Трансформаторы для высокочастотного нагрева*, Машгиз, 1957.

Рукопись поступила в издательский отдел
23 мая 1968 года.

