

С 345е 4

8/11-71

С-506

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P9 - 5724

1870/2-71



5724

А.А. Смирнов, А.З. Дорошенко, Д.П. Калмыков,
Л.Н. Беляев

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

СИСТЕМА ПОДАВЛЕНИЯ
ПУЛЬСАЦИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ
ДУБНЕНСКОГО СИНХРОФАЗОТРОНА

1971

P9 - 5724

А.А. Смирнов, А.З. Дорошенко, Д.П. Калмыков,
Л.Н. Беляев

СИСТЕМА ПОДАВЛЕНИЯ
ПУЛЬСАЦИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ
ДУБНЕНСКОГО СИНХРОФАЗОТРОНА

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

В основу системы подавления пульсаций магнитного поля дубненского синхрофазотрона была положена схема подключающегося LC-фильтра с подзарядом конденсаторов фильтра^{1/}. В отличие от известной схемы в данном устройстве фильтр включается с помощью тиратронов (9,13) только в режиме площадки тока (см. рис. 1). Для уменьшения мощности подзарядного выпрямителя (5) активное сопротивление (6), необходимое для устойчивого горения подключающих тиратронов (9,13), включается с помощью добавочного тиратрона (7) одновременно с подключающими тиратронами. Тип тиратронов TP1-85/15.

В качестве индуктивностей фильтра использованы в одном полюсе магнит (15), в другом четыре последовательно соединенные реактора (16). Зазор в магнитопроводах увеличен до 2x20 см для обеспечения необходимой индуктивности при подмагничивании постоянным током до 12 ка. Общая индуктивность фильтра 13 мГн.

Конденсаторная батарея фильтра состоит из двух последовательно соединенных групп конденсаторов (10,12) типа ИМ-5-150. Общая емкость батареи составляет 2000 мкф при рабочем напряжении 10 кв. Средняя точка батареи через конденсатор (11) емкостью 300 мкф подключена к "земле".

Подзарядный выпрямитель (5) представляет собой управляемый трехфазный мостовой выпрямитель на тиратронах TP1-6/15. Максимальное выпрямленное напряжение 2 кв. Максимальный выпрямленный ток 20 а/2/.

Схема управления системы подавления пульсаций включает в себя блок стабилизации напряжения подзарядного выпрямителя (4), бланкирующее устройство (3), запирающее подзарядный выпрямитель на

время работы фильтра, и блок формирования импульсов поджигания тиратронов фильтра (2). Последнее устройство с переводом преобразователя в режим площадки тока вырабатывает импульсы управления с необходимой фазой для поджигания тиратронов (7,9,13) и запуска бланкирующего устройства (3). Блок-схема и графики, поясняющие работу схемы управления, приведены на рис. 2. Импульс из схемы управления преобразователя для перехода в режим площадки тока задерживается во времени каскадом задержки (1). Задержанный во времени импульс запускает одновибратор (2), который вырабатывает прямоугольный импульс длительностью 2,5 мсек. Этот импульс поступает на вход I схемы совпадений (3). С приходом этого импульса схема совпадений пропускает два импульса из серии непрерывно поступающих на вход I импульсов напряжения, синхронных с поджигающими импульсами вентилей преобразователя системы питания. Выходные импульсы схемы совпадений задерживаются во времени каскадом (4). Задержанные импульсы поступают в схему разрешения (5), которая пропускает их на вход усилителя мощности (7) в том случае, если с выхода каскада (6) поступает разрешающее напряжение. Это напряжение вырабатывается каскадом (6) тогда, когда выпрямленное напряжение системы питания меньше 2 кв. Тем самым достигается блокирование, препятствующее несвоевременному открытию тиратронов фильтра при выпрямительном режиме работы главных преобразователей.

Защита системы подавления пульсаций от аварийных режимов осуществляется несколькими устройствами:

1. Защита от обратных зажигания тиратронов (9,13) — см. рис. 1 — выполнена с помощью двух комплектов диодов (8,14), включенных последовательно с тиратронами. Один комплект состоит из восьми диодов типа ВЛ-320-8.

2. Ток, возникающий в тиратронах фильтра i_k и напряжение на конденсаторной батарее u_c при прорыве тиратронов во время работы преобразователя в режиме с максимальным выпрямленным напряжением можно определить с достаточной точностью из упрощенной схемы фильтра (рис. 3а) по уравнениям (1) и (2), пренебрегая влиянием очень малого активного сопротивления цепи фильтра и большой индуктивностью (2,7 гн) магнита ускорителя^{/3/}.

$$i_k = \frac{E}{\rho} \sin \omega_0 t,$$

$$u_o = E(1 - \cos \omega_0 t),$$

где E — среднее выпрямленное напряжение преобразователя, равное 10 кв;

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}} = 2,55 \text{ ом};$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 195 \text{ 1/сек.}$$

Кривые i_k и u_o , полученные в результате расчёта, изображены на рис. 3в. Если начало прорыва соответствует моменту времени t_1 , а среднее напряжение преобразователя описывается кривой 1, рис. 3б, то напряжение на конденсаторной батарее достигает величины 20 кв, а амплитуда тока 3400 а. Учитывая такой факт, что собственная частота LC-фильтра значительно меньше частоты питающего напряжения преобразователя, аварийный ток i_k и напряжение на конденсаторной батарее u_o можно уменьшить до приемлемой величины, переводя преобразователь в момент прорыва в инверторный режим (см. рис. 3б, кривая 2). Для этой цели фильтр был оборудован быстродействующей максимальной токовой защитой на трансформаторах постоянного тока. При достижении тока уставки 500 а эта защита переводит преобразователь в инверторный режим работы. Дополнительно в цепи тиратронов установлено два прямых быстродействующих автоматических выключателя типа ВАБ-3-2000 с уставкой отключения 500 а. Аварийный ток i_k и напряжение на конденсаторной батарее для этого случая можно определить из уравнений включения последовательного контура LC на переменное синусоидальное напряжение/3/.

$$u_o = u_{om} \left[-\sin(\omega t + \psi) + (\sin \psi \cos \omega_0 t + \frac{\omega}{\omega_0} \cos \psi \sin \omega_0 t) \right], \quad (3)$$

$$i_k = I_{km} \left[-\cos(\omega t + \psi) + (\cos \psi \cos \omega_0 t - \frac{\omega_0}{\omega} \sin \psi \sin \omega_0 t) \right], \quad (4)$$

где u_{om} — амплитуда установившегося значения напряжения на конденсаторной батарее при включении фильтра на переменное напряжение частотой ω , I_{km} — амплитуда установившегося значения тока конденсаторной батареи, ω_0 — собственная частота фильтра, ψ — начальная фаза включения, которая в случае двенадцатифазного выпрямления принимается равной 90 ± 15 град. эл. (см. рис. 3б).

На рис. 3г изображены кривые u_o и i_k , вычисленные по уравнениям (3) и (4) для случая $\psi = 90$ град. эл. При подстановке в них $\psi = 90$ уравнения приобретают упрощенный вид.

$$u_o = u_{om} [-\cos \omega t + \cos \omega_0 t]; \quad (5)$$

$$i_k = I_{km} \left[\sin \omega t - \frac{\omega_0}{\omega} \sin \omega_0 t \right]. \quad (6)$$

Напряжение на конденсаторной батарее в этом случае достигает 4,5 кв и ток — 2200 а.

3. Защита от повреждений конденсаторов батареи фильтра осуществляется индивидуальными плавкими предохранителями типа ПК-10 на 10 а и специальной релейной схемой, которая при пробое или отключении одной из банок батареи переводит преобразователь в инверторный режим и прекращает его дальнейшую циклическую работу.

4. Для защиты от аварийных режимов, возникающих при прорывах одного из подключающих тиратронов фильтра, его схема оборудована дифференциальной релейной защитой, которая одновременно индицирует неисправный тиратрон.

Опытная эксплуатация

Осциллограммы рис. 4,5 характеризуют выпрямленное напряжение преобразователя в новом режиме работы при $I_d = 12$ ка. Можно видеть, что для составляющих 500, 1000 и 1500 гц получен расчетный коэффициент подавления, равный 100. Кроме того, в кривой выпрямленного напряжения

преобразователя присутствуют составляющие 25 и 50 гц с суммарной амплитудой 80 в. Опыт наладки показал, что для обеспечения устойчивой работы системы подавления пульсаций в широком диапазоне токов магнита ускорителя при условии поддержания производной напряженности магнитного поля, равной нулю, необходимо изменять величину сопротивления (6) - см. рис. 1 - в соответствии с нижеследующей таблицей.

Сопротивление, ом	Устойчивая работа при токе в "столбе", макс. ка.
8,0	10 - 12
6,6	6,0 - 10
3	3,5 - 6,0
0,8	1,0 - 3,5

Для проверки работоспособности системы защит тиратроны фильтра включались при работе преобразователя в выпрямительном режиме работы ($\alpha = 0$) при линейном напряжении на генераторах 5,5 кв. Осциллограмма рис. 6 иллюстрирует успешную работу защиты в этом эксперименте. 13 октября 1969 года после завершения наладочных работ система подавления пульсаций была введена в эксплуатацию. К настоящему времени система отработала более 5000 часов и показала высокую надежность всех устройств.

Л и т е р а т у р а

1. ПТЭ, №4 , 27 (1962).
2. Л.Г. Макаров, А.А. Смирнов. Установка для получения импульсных полей максимальной напряженности 140 кэ в объеме 1200 см³. Сообщение ОИЯИ 13-4187, стр. 8, Дубна, 1969.
3. С.Г. Гинзбург. Методы решения задач по переходным процессам в электрических цепях. "Советское радио", 1954, стр. 80, 86.
4. Л.Н. Беляев, А.А. Смирнов, Н.И. Павлов. Выбор схемы и расчёт основных параметров системы подавления пульсаций магнитного поля дубненского синхрофазотрона. Сообщение ОИЯИ, 9-4358, Дубна, 1969.

Рукопись поступила в издательский отдел

31 марта 1971 года.

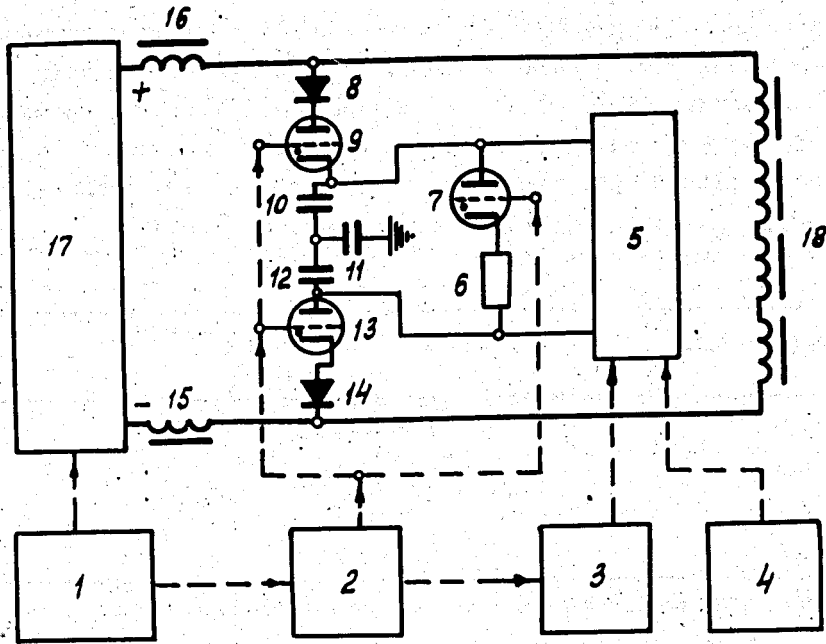


Рис. 1

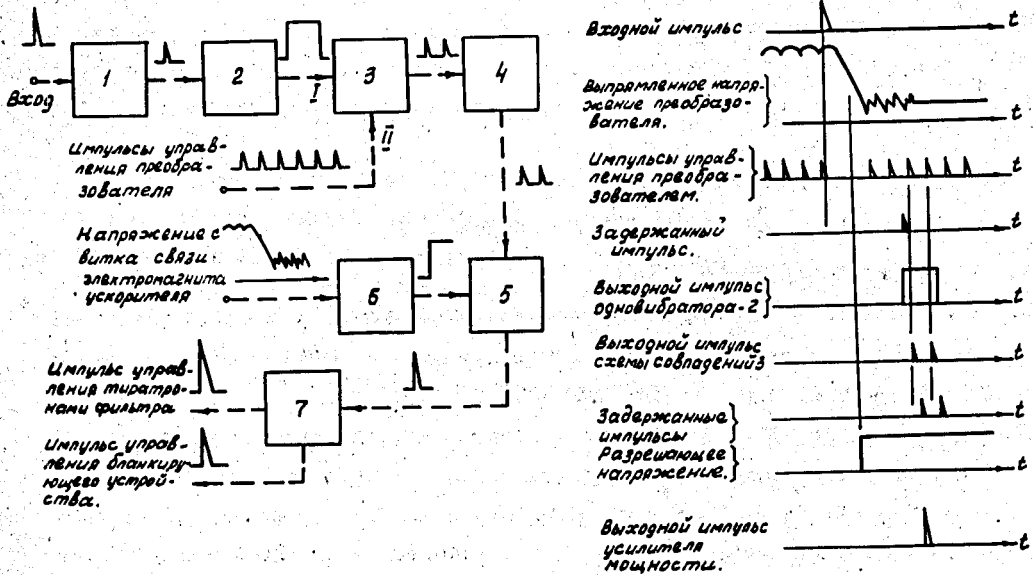
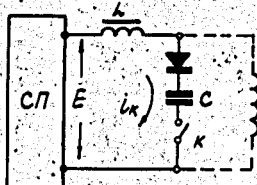


Рис. 2



$L = 13 \text{ мГн.}$
 $C = 2 \cdot 10^3 \text{ мкФ. } \alpha)$
 $E = 10 \text{ кВ.}$

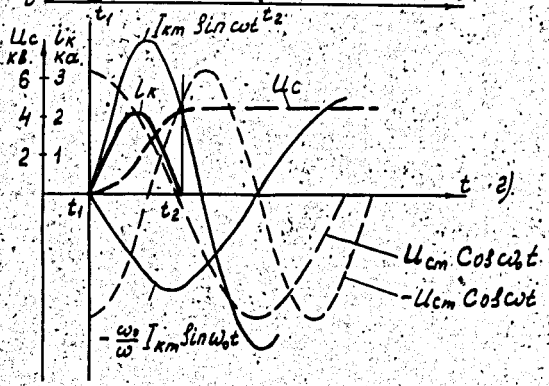
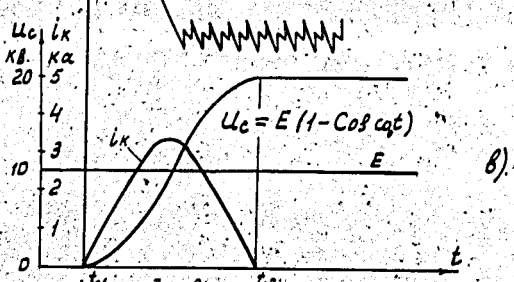
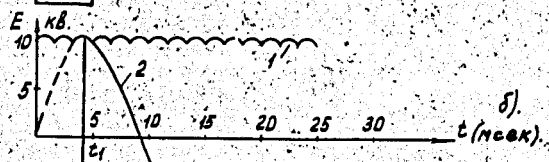


Рис. 3

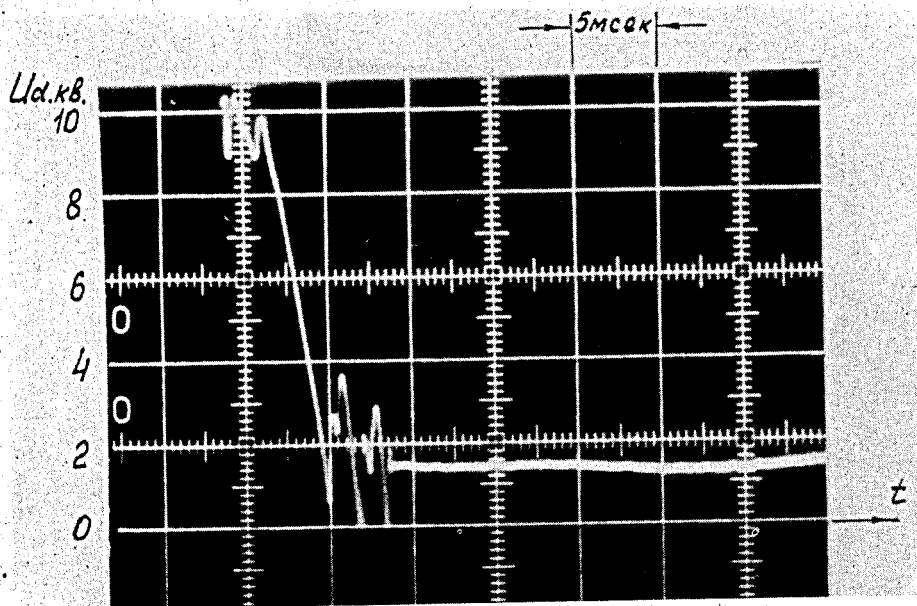


Рис. 4. Выпрямленное напряжение преобразователя в режиме площадки тока с включенной системой подавления пульсаций.

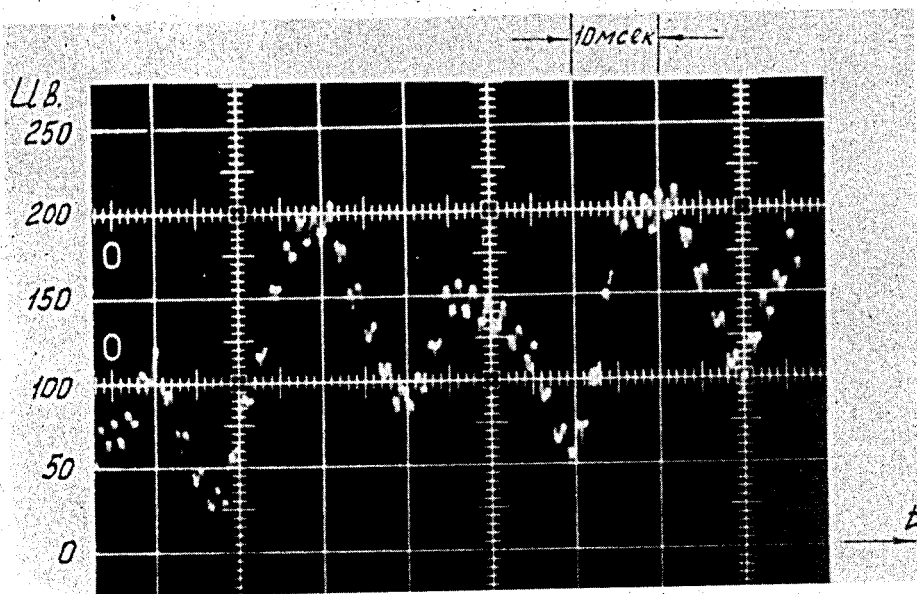


Рис. 5. Переменная составляющая выпрямленного напряжения преобразователя в режиме площадки тока с включенной системой подавления пульсаций.

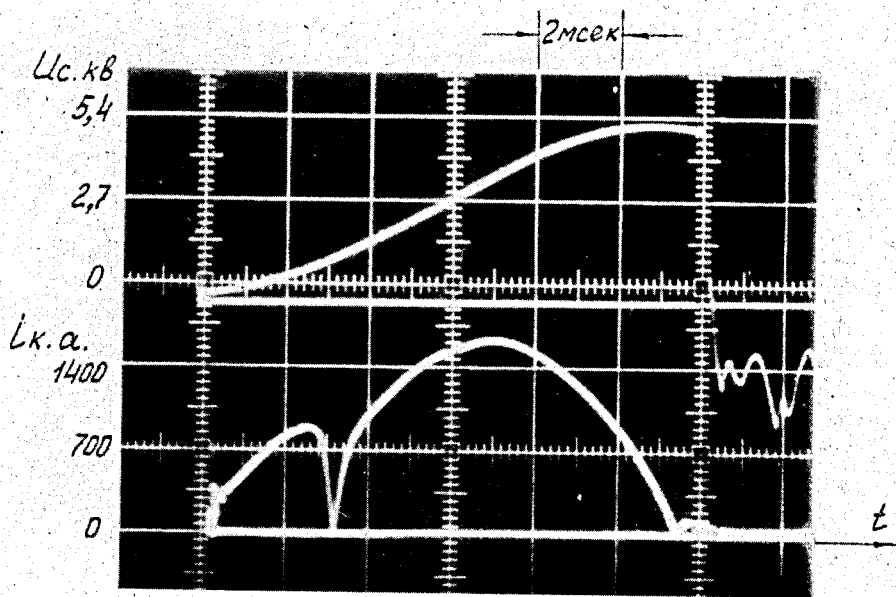


Рис. 6. Напряжение на конденсаторной батарее (верхняя кривая) и ток i_k в "аварийном режиме". (Выход с трансформатора постоянного тока).