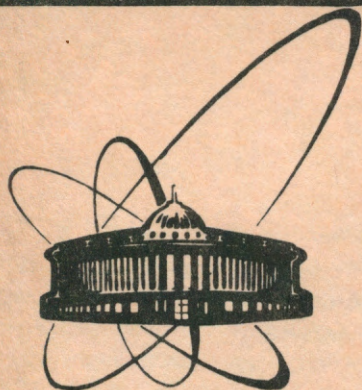


91-317



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

P13-91-317

Ю. И. Романов

НЕЗАЗЕМЛЕННЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ
НА СУПЕРКОНДЕНСАТОРАХ

1991

ВВЕДЕНИЕ

В высоковольтном ускорителе заряженных частиц на базе импульсного трансформатора проблемы управления и контроля ионного источника успешно решаются путем использования техники волоконно-оптической связи, коммуникационной средой в которой служит волоконно-оптический кабель. В системах управления и контроля в высоковольтных электрофизических установках (ЭФУ) используется, в основном, параллельная организация передачи информации^{1,2/}. Как показал опыт работы, такая многоканальная организация конструктивно и логически более просто обеспечивает связь между пультом управления ЭФУ и электронными блоками аппаратуры, расположенными на высоковольтном терминале ускорителя, она удобна в эксплуатации.

Устанавливаемая на высоковольтной платформе инжектора (~ 700 кВ относительно "земли"), в непосредственной близости от энергоемких управляемых структур — систем питания ионного источника, приемопередающая аппаратура волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) должна отвечать следующим основным требованиям. Она должна быть:

а) защищенной от импульсных помех, проникающих извне как в результате электромагнитного излучения, так и через общий фидер питания;

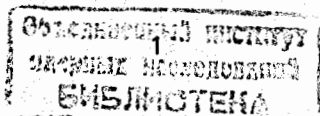
б) экономичной, так как автономный источник питания имеет ограниченную мощность;

в) вибростойкой, так как электропитание ионного источника осуществляется через жесткосвязанную систему "мотор-генератор" и вал, обеспечивающий гальваническую развязку.

По мере развития ЭФУ уровень помех непрерывно возрастает вследствие расширения спектра рабочих сигналов и, соответственно, сигналов паразитных наводок. В то же время непрерывно снижаются мощности, потребляемые аппаратурой ВОЛС за счет широкого использования интегральных микросхем. При этом помехозащищенность микроэлектронной базы имеет тенденцию к снижению за счет повышения быстродействия и уменьшения электропотребления.

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ МОДУЛЕЙ ВОЛС НА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭФУ

Оконечными устройствами любой ВОЛС являются экранированные модули ПОМ и ПРОМ, один из которых выполняет функцию преобразования электрического сигнала в оптический (передающий оптический модуль — ПОМ), а дру-



гой — преобразования оптического сигнала в электрический (приемный оптический модуль — ПРОМ).

Наибольшую опасность для входных каскадов ПРОМ, расположенных на высоковольтном терминале, представляют помехи, создаваемые:

- а) пробоями в ускоряющей системе и разрядной камере ионного источника;
- б) мощными генераторами токов высокой частоты;
- в) эффектами высокого напряжения (тлеющий разряд, коронирование, искрение и т.д.);
- г) импульсной работой тиратронов и тиристоров.

Эти помехи носят импульсный характер и проникают в аналоговую часть ПРОМ из общего фидера питания через паразитную емкость силового трансформатора источника и общий провод питания. Компенсационные стабилизаторы напряжения не успевают реагировать на короткие импульсы сетевых помех из-за ограниченности собственной полосы пропускания. Сетевые фильтры^{/3/}, выпускаемые промышленностью для защиты от помех, при использовании на ЭФУ оказались недостаточно эффективны. Как показал опыт работы, для исключения помех по "земле" и эффектов, создаваемых контурами заземления, в аппаратуре необходимо наличие гальванических развязок.

Существенно улучшить характеристики создаваемой электронной аппаратуры для систем контроля и управления высоковольтных ЭФУ можно применением незаземленных источников питания (НИП). В качестве таких устройств используют гальванические элементы и аккумуляторы^{/4,5/}, солнечные батареи^{/6/}, источники питания с применением преобразователя напряжения и развязывающего трансформатора с объемным витком^{/7/}. Применяется также питание от отдельного машинного генератора, вращаемого с земли через изолирующий вал или ремень^{/8/} или приводимого в движение газовой турбиной, к которой по диэлектрической трубке направляется поток газа и др.

Основные недостатки источников питания, указанных выше, на наш взгляд, следующие.

Первые два типа НИП требуют постоянного контроля и своевременной замены, так как пока не существует прибора для эффективной оценки количества энергии, оставшейся в гальванических элементах и аккумуляторах. Таким образом, работая в составе аппаратуры ЭФУ, эти НИП остаются своеобразным "черным ящиком".

Большой интерес представляет использование "солнечных" батарей (с.б.) на высоковольтных ЭФУ в качестве НИП. Эксплуатация с.б. на таких установках предполагает работу с.б. с местным или удаленным осветителем. Размещение этих узлов НИП на высоковольтной колонне инжектора линейного ускорителя сопряжено с трудностями установки панели с.б. и осветительной аппаратуры в условиях жестко лимитированного пространства.

Экспериментальное исследование такого устройства показало, что использование традиционных ламп накаливания в блоке осветителя неэффективно из-за их низкого к.п.д., значительного выделения тепла, необходимости установки вентиляции.

Кроме того, при использовании местного осветителя существенно возрастает нагрузка на фидер общего электропитания автономного генератора.

Альтернативный вариант — работа с удаленным осветителем с использованием мощной ксеноновой лампы, расположенной на потенциале "земля" у основания трехметровой высоковольтной колонны. Однако этот вариант расположения осветителей нежелателен, так как мощная ультрафиолетовая компонента при работе направленного осветителя с.б. может стать инициатором появления "короны" или стримера с высоковольтного трансформатора ИТ-800.

В процессе эксплуатации с.б. возможны аварийные отключения электропитания ВОЛС, так как сильная ионизация воздушной среды в помещении инжектора ЛУ-20 способствует быстрому запылению поверхности панели с.б., которая по условиям работы должна быть открытой. Таким образом, вопрос об использовании с.б. на высоковольтном терминале ЭФУ в качестве НИП пока не нашел удовлетворительного решения..

Следующее устройство, используемое в качестве НИП, изготовленное с применением преобразователя напряжения и развязывающего трансформатора с объемным витком, имеющего малую емкость между первичной и вторичной обмотками, описано в работе^{/7/}. Его основной недостаток — материалоемкость, использование моточных изделий и серебряных покрытий, низкий к.п.д.

Реализация на ЭФУ других НИП, названных выше, затрудняется тем, что связана либо с необходимостью иметь дополнительную систему дистанционного контроля параметров, либо с наличием вибраций, либо с большими габаритами.

НИП С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНДЕНСАТОРНЫХ БАТАРЕЙ (СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ)

Интерес к конденсаторам — накопителям электрической энергии объясняется их удивительными свойствами. Конденсаторы способны быстро заряжаться и не содержат (в отличие от аккумуляторов) электролита и дефицитных материалов. Они способны на большое число циклов "заряд — разряд" ($10^6 \div 10^8$), неограниченно долго сохраняются (аккумуляторы служат $3 \div 4$ года), легко размещаются в кассетах любого стандарта электроники. Мощность емкостного накопителя значительна, чего не обеспечивают аккумуляторные батареи, особенно при низких температурах. Следует также отметить, что стоимость энергии щелочных аккумуляторных батарей, используемых для питания прецизионной аппаратуры на ЭФУ, примерно на порядок дороже. Увеличивая удельные характеристики емкостных накопителей энергии, можно изготовить источник питания, который позволит аппаратуре с небольшим энергопотреблением работать достаточно долго. Второй путь улучшения нагрузочных характеристик нового источника питания — использование коммутируемых батарей емкостных накопителей. Такие источники хорошо подходят для питания прецизионной аппаратуры на ЭФУ, так как разряд одной группы конденсаторов быстро

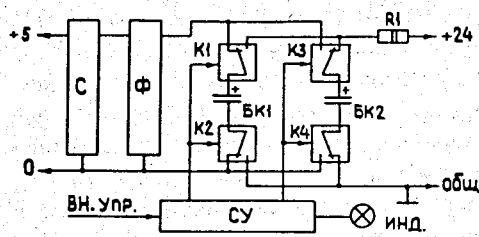


Рис. 1. Структурная схема НИП на суперконденсаторах.

компенсируется зарядным процессом другой. При изготовлении конденсаторного накопителя, который сам по себе является идеальным прибором для измерения количества за-

пасенной в нем энергии — интегратором, оператор, обслуживающий ЭФУ, всегда точно может определить количество энергии, оставшейся в такой батарее в ампер-часах, джоулях или вольтах. И, наконец, для создания емкостного накопителя энергии могут быть использованы обычные конденсаторы (например, типа К50-16) с удельной энергией $(0,3 \div 3) \cdot 10^{-2}$ Дж/см³.

Структурная схема НИП с использованием коммутируемых батарей конденсаторов приведена на рис.1. НИП включает в себя схему управления (СУ), релейные ключи (К1 ÷ К4), две батареи емкостных накопителей (БК1, БК2), транзисторный фильтр (Ф), стабилизатор напряжения (С).

СУ осуществляет регулирование процессов заряда-разряда емкостных накопителей. Она производит управляемое поочередное подключение батарей конденсаторов БК1 и БК2 к шине +24 В крейта КАМАК (режим "заряд" с одновременным переходом одного из накопителей в режим "разряд"). При этом контактные группы малогабаритных реле должны работать согласованно. Так, если группа ключей, например К3 и К4, подключает БК2 на "заряд", то другая — К1 и К2 подключает емкостный накопитель БК1 к нагрузке, отключая его от заземленной (общей) шины источника крейта. И наоборот.

Схема управления НИП может работать с внешним запуском, что позволяет повысить экономичность и помехозащищенность систем ВОЛС за счет использования импульсного питания там, где это возможно. Транзисторный фильтр (Ф) на структурной схеме (рис.1) служит для нейтрализации импульсных помех, возникающих при коммутации батарей емкостных накопителей. Функцию поддержания постоянного напряжения в НИП выполняет маломощный интегральный стабилизатор (С) типа КРЕН5. Он обеспечивает необходимые электрические параметры выходного напряжения при соблюдении предельно допустимых режимов эксплуатации НИП.

Степень помехозащищенности ПРОМ при работе с данным НИП в основном определяется проходной емкостью электрических контактов коммутаторов источника. У используемых реле (РЭС-49) емкость контактов не превышает десятых долей пикофарды. Тем самым обеспечивается эффективная гальваническая развязка систем ВОЛС, установленных на высоковольтном терминале, от влияния импульсных электрических помех, проникающих через общий фидер и помех по "земле". Электрическая схема управления НИП приведена на рис.2. Схема управления включает в себя управляемый задающий генератор (Т1, М1), делитель частоты (М2), триггер управления (М3), приводы реле (Т6, Т7).

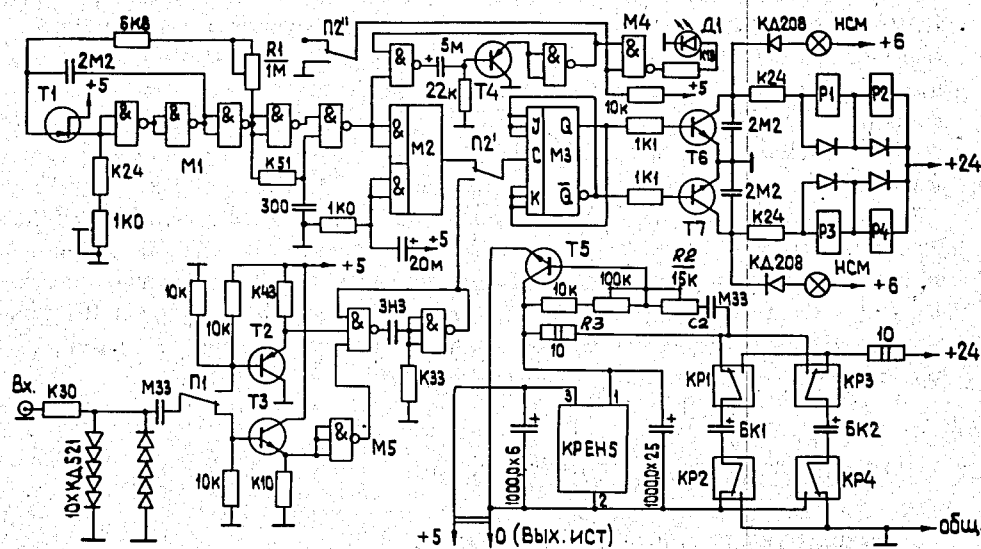


Рис. 2. Электрическая схема управления НИП.

Задающий генератор позволяет вручную изменять частоту генерируемых им прямоугольных импульсов в рабочем диапазоне НИП. Это достигнуто путем применения в схеме полевого транзистора Т1 (КП303). При относительно небольшой емкости конденсатора (С1 = 2М2) возможно получение ультранизких частот. Длительность выходных импульсов регулируется резистором R1. Частота следования выходных импульсов определяется по формуле $f_0 = 1/2 R1C1$. Для ручной регулировки частоты R1 выведен на заднюю панель кассеты КАМАК. Индикация работы генератора (импульсный режим) осуществляется светодиодом Д1, подключенным на выход формирователя (Т4М4). При работе схемы управления от импульсов внешнего запуска (формирователь Т2, Т3, М5) светодиод горит постоянно. Переключение режима работы СУ осуществляется тумблером П2. Сигналы синхронизации, подаваемые на вход схемы управления НИП, могут быть произвольной полярности. Входная цепь СУ защищена от кратковременных перегрузок диодными "столбами" /7/ с временем срабатывания ~ 5 нс. Такой "столб" на диодах КД522 может обеспечить быстрое срабатывание в прямом направлении, однако падение напряжения на нем невелико — менее 1 В. При последовательном соединении N таких диодов прямое падение напряжения "столба" повышается в N раз, емкость уменьшается в N раз, а время срабатывания не изменяется. Таким образом, обеспечивается эффективная защита входной цепи от перегрузок. Входной сигнал запускает одновибратор, собранный на вентилях 155-й серии. Последний формирует выходной сигнал для триггера управления (М3) и приводов реле (Т6, Т7). Обмотки реле, вклю-

ченные последовательно (P1, P2 и P3, P4), управляют контактными группами (КР1, КР2 и КР3, КР4 соответственно). Нейтрализация импульсных помех, возникающих при коммутации батарей емкостных накопителей (БК1 и БК2), осуществляется транзисторным фильтром (Т5). Данные элементов транзисторного фильтра меняются в зависимости от величины помехи и потребляемого тока. Фильтр работает следующим образом. Импульс помехи, возникающий при подключении заряженной батареи конденсаторов к нагрузке, через цепь $R2 = 15 \text{ к}$, $C2 = M33$ вызывает совпадающий по форме базовый ток величиной $I_B = U_{п}/R2$. На коллекторной нагрузке $R3 = 10 \text{ Ом}$ транзистора Т5 (КТ604) возникает напряжение величиной $U_K = \beta \cdot I_B \cdot R3$. Условие полного отсутствия помехи $U_{п} - U_K = 0$ или $\beta R3 = R2$. Таким образом, на коллекторной нагрузке R3 транзистора КТ604 изменением величины сопротивления резистора R2 можно добиться полной нейтрализации импульсной помехи.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НИП

Выходное напряжение, В	— 5
Максимальный ток, А	— 0,1
Емкость конденсаторных батарей, мкФ	— $2 \times 8 \cdot 10^4$
Регулируемая частота переключений, Гц	— 1...0,01
Монтаж в кассете КАМАК	— 4М.

Конструкция НИП показана на рис. 3.

Испытания 50-метровой системы ВОЛС с новым источником питания в условиях высокого уровня помех и импульсных радиационных полей, возникающих при работе линейного ускорителя ЛУ-20, показали, что применение НИП на суперконденсаторах практически полностью исключает появление помех на шинах питания фотоприемников. Нарботка системы ВОЛС на отказ показала, что достоверность передачи данных с использованием описанного НИП не хуже 10^{-9} . Таким образом, гальваническое разделение шин питания крейта КАМАК и ПРОМ позволяет успешно решать поставленную задачу.

Вопросы электромагнитных наводок довольно часто и остро встают при создании мощных электрофизических установок. Типичным примером является импульсная установка "Ангара-5"¹⁹, предназначенная для проведения исследований по программе инерциального термоядерного синтеза. Для устойчивой работы регистрирующих систем питание последних осуществляется через мотор-генератор без диэлектрической развязки. Такое традиционное, на наш взгляд, решение мало влияет на подавление импульсных электрических помех.

Использование НИП описанного типа в таких системах, а также оптоэлектронных развязок для гальванического разделения как на уровне аналоговых, так и на уровне цифровых сигналов, позволяет резко повысить помехозащищенность аппаратуры на высоковольтных и энергоемких ЭФУ.

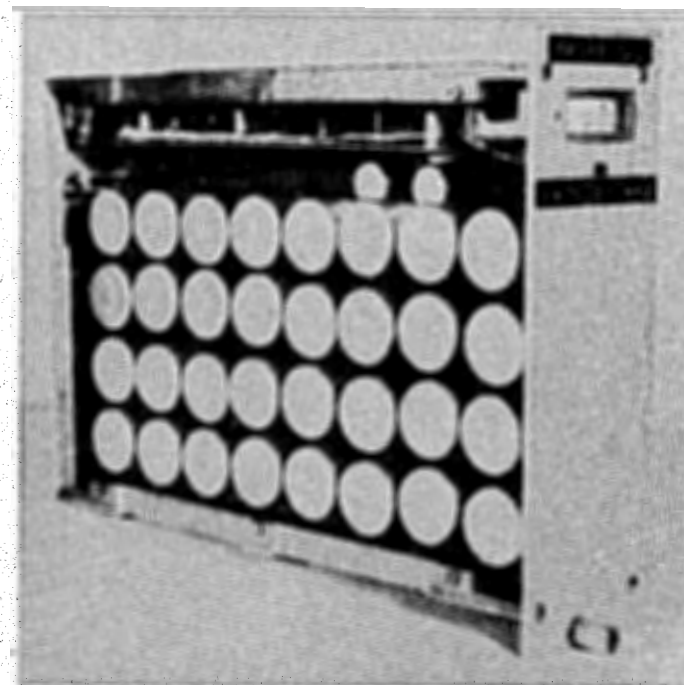


Рис. 3. Конструкция НИП.

Автор выражает благодарность М.А.Воеводину и В.А.Белякову за полезные обсуждения, П.Н.Буйлову за помощь в монтаже блока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-82-279, Дубна, 1982.
2. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-88-827, Дубна, 1988.
3. Гальперин М.В. — Практическая схемотехника в промышленной автоматике. М.: Энергоатомиздат, 1987, с.283.
4. Аполлонов В.В. и др. — ПТЭ, 1984, № 5, с.163.
5. Duroy G.J. — Microscopy, 1973, v.97, No.1/2, p.3.
6. Микроэлектронные электросистемы. Применение в радиоэлектронике. (Под ред. Ю.Н.Конеева). М.: Радио и связь, 1987, с.184.
7. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-89-847, Дубна, 1989.
8. Комар Е.Г. — Основы ускорительной техники. М.: Атомиздат, 1975, с.66.
9. Зайцев В.И. и др. — ПТЭ, № 4, 1990, с.150.

Рукопись поступила в издательский отдел
8 июля 1991 года.