

Стабилизация выходной мощности ионозонда с дискретно-частотным сигналом

В.И. Сахтеров, Е.В. Барков, В.А. Гарбацевич, В.Ю. Ким,

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова
108840, Москва, г.Троицк, Калужское ш., д. 4.
E-mail: sakhterov@mail.ru*

Вследствие работы в импульсном режиме с длительностью до 600 мкс происходит снижение напряжения питания. Для импульсных ионозондов, использующих сложные алгоритмы обработки сигналов, предложена схема стабилизации выходной мощности, позволяющая снизить неравномерность излучаемой мощности.

Ключевые слова: ионозонд, ионограмма, дискретно-частотные сигналы

Stabilization of the ionosonde output power with a discrete-frequency signal

V.I. Sakhterov, E.V. Barkov, V.Y. Kim

Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation.

Due to operation in pulse mode with a duration of up to 600 microseconds, the supply voltage decreases. For pulsed ion probes using complex signal processing algorithms, a scheme for stabilizing the output power is proposed, which allows reducing the unevenness of the radiated power.

Keywords: ionosonde, ionogram, discrete-frequency signals

Введение

Современные автоматизированные цифровые сетевые ионозонды имеют несколько режимов работы: вертикальное, наклонные и наклонно-возвратное зондирование, кроме этого, используют различные виды излучения и обработки принимаемых сигналов. Стандартно для построения ионограммы вертикального зондирования необходимо от 400 до 620 измерений в диапазоне от 1 до 20 МГц. Сеанс получения ионограммы импульсным ионозондом с длительностью импульса 100 мкс, занимает от 12 до 40 секунд. При этом выходная мощность лампового передатчика импульсного ионозонда составляет свыше 10 кВт [1,2]. В ионозондах с использованием фазо-кодированной манипуляции (ФКМ) используются длительность импульса до 600 мкс и может состоять от 9 до 32 элементов частоты с изменением фазы, выходная мощностью порядка 200 Вт [3]. Время зондирования может достигать 3 минут. Во всех вышеперечисленных ионозондах нет жестких требований к равномерности излучаемого импульса, отраженный сигнал импульсного ионозонда приобретает колоколообразный вид, в ФКМ ионозондах происходит сложение всех элементов в один импульс 20-70 мкс и неравномерность амплитуды излученного сигнала не оказывает влияния на конечный результат.

Современные методы зондирования ионосферы

В настоящее время разработаны и используются ионозонды с временами зондирования менее 4 секунд. Достигается это использованием оригинального способа формирования излучаемого сигнала и способа обработки принятого отраженного от ионосферы сигнала. Для сокращения времени зондирования применяется параллельное зондирование на нескольких частотах, используются термин дискретно-частотные

сигналы (ДЧС). Этот способ предполагает последовательные излучения в одном импульсе длительностью до 620 мкс комбинацию нескольких частот длительностью по 70-75 мкс. В патенте «Способ получения ионограмм» используется 4 канальный приемник и мощный модернизированный ламповый передатчик от ионозонда «Базис», что позволило провести эксперименты с периодичностью зондирования около 2 секунд [4]. Подобный способ формирования излучаемого сигнала используется и другими разработчиками ионозондов [5] В ионозонде «Томион» для приема используется до 8 приемников работающих одновременно, получаемые результаты позволяют строить объемную модель ионосферы с хорошим графическим представлением.

В ИЗМИРАН проводились эксперименты с быстродействующим ионозондом, по результатам выявлены быстрые вариации профилей электронной концентрации в ионосфере [6]. Дальнейшие эксперименты по увеличению количества элементов дискретно-частотных сигналов до 8 элементов с использованием транзисторного усилителя выявили некоторые недостатки данного способа получения ионограмм, для упрощения расчетов используется выходная мощность 1 кВт. На рис. 1а приведены сигналы на входе усилителя мощности поступающие с модулятора приемника, 8 различных частот одинаковой амплитуды, на рис. 1б приведен выходной сигнал усилителя, к концу импульса длиной 600 мкс наблюдается снижение амплитуды f_8 относительно f_1 примерно на 25%, что означает снижение выходной мощности последнего элемента на 2 dB (650 Вт). Эта нелинейность излучаемого сигнала приводит к усложнению обработки по обнаружению принимаемого сигнала. При других способах зондирования, как например импульсный одночастотный сигнал длительностью 100 мкс (4 кВт) или фазо-кодированная манипуляция длительностью 600 мкс (600 Вт) используется большая энергия или накопление сигнала и такая неравномерность излучаемого импульса не вносит искажений, приемный сигнал в любом случае будет иметь куполообразный вид, конечно возникает неравномерностью связанная коэффициентом стоячей волны антенно-фидерной системы, но она одинакова для всех способов зондирования.

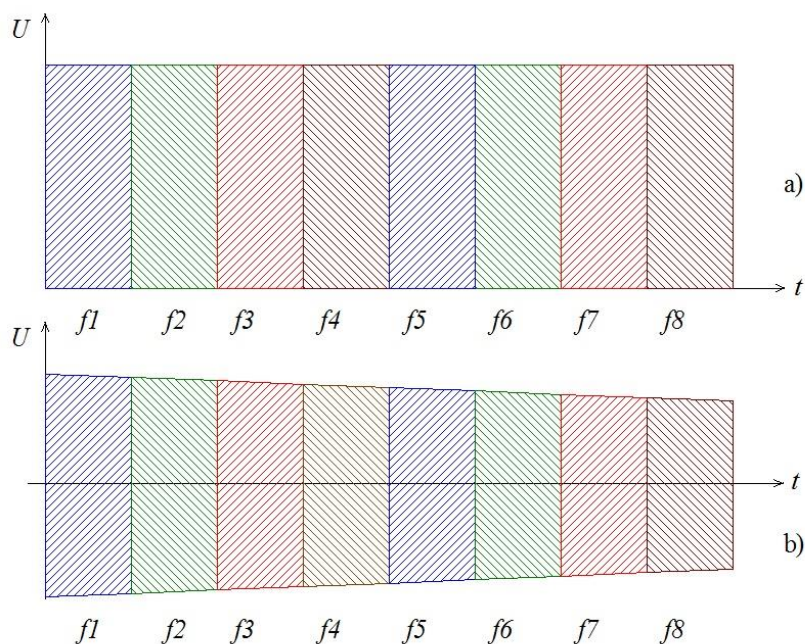


Рис 1. Сигналы (а) поступающие на усилитель мощности и получаемые на выходе (б)

Стабилизация выходной мощности

Причина возникновения этой неравномерности известна, недостатки системы электропитания, изготовить блок питания необходимой мощности довольно дорогое занятие, поэтому все использовали в передатчиках накопительные конденсаторы, а мощность блока питания обычно немного превышает среднюю мощность передатчика, для передатчика с выходной мощностью обычно устанавливают блок питания с выходной мощностью 150 Вт. Тем более, в импульсном ионизонде с длительностью 100 мкс, сетевые блоки питания работают на частотах 20-30 кГц, что означает длительность импульсов блока питания порядка 30-50 мкс, что соизмеримо по временам с импульсом зондирования. Учитывая время срабатывания обратной связи схем управления, даже использование преобразователей на полную выходную не может изменить ситуацию. При использовании твердотельных усилителей с длительностью импульса порядка 600 мкс есть возможность выровнять неравномерность при применении блока питания на полную мощность, но эксперименты показывают провал напряжения до 400 мкс, к 450-500 мкс напряжение достигает номинального уровня, рабочая частота и обратная связь сетевых преобразователей накладывают свои ограничения. А мощность блока питания увеличивается со 150 до 2000 Вт, что тоже удорожает стоимость ионизонда.

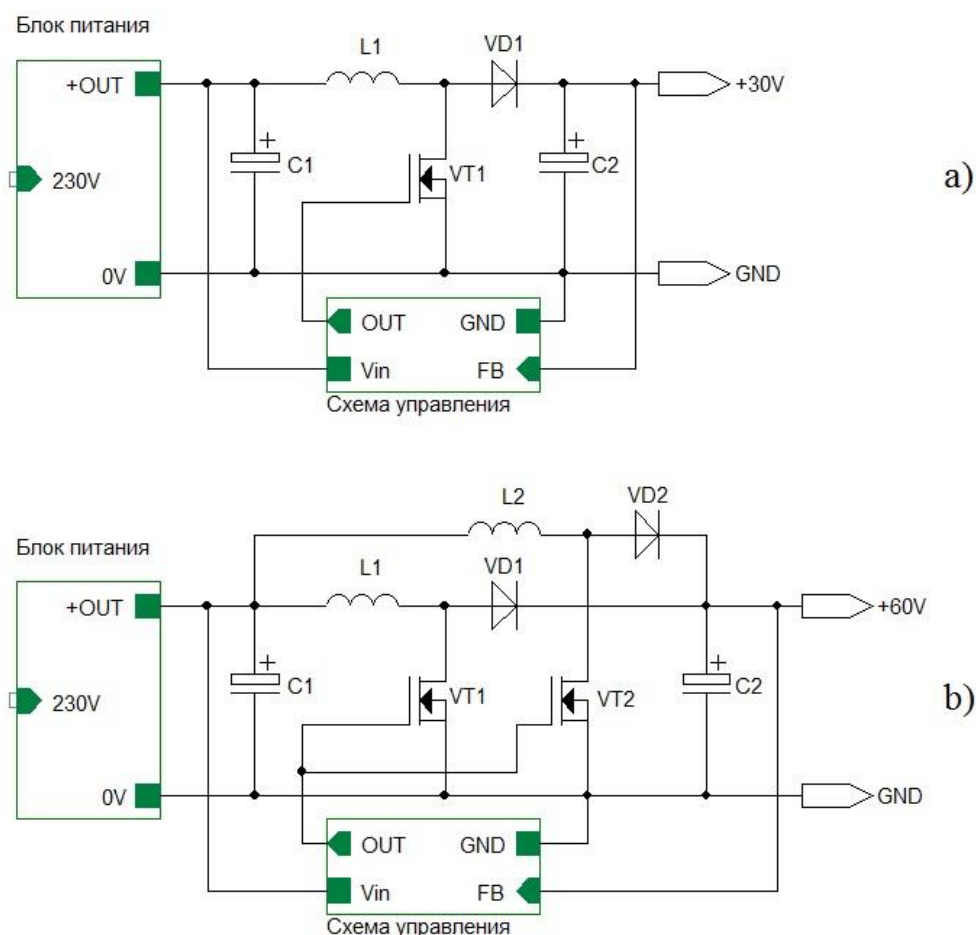


Рис 2. Схема однофазного (а) и многофазного (б) повышающего преобразователя

Также отметим снижение напряжения питания в предварительных каскадах усилителя мощности, что тоже вносит свой вклад в общую неравномерность амплитуды выходного импульса. Увеличение емкости накопительных конденсаторов

неэффективна, после некоторого уровня, вследствие значительных токов, начинается ограничение из-за сопротивления проводников, также меняются времена обратной связи блока питания, что тоже не способствует необходимому режиму работы. Одним из решений данной проблемы является введение в схемотехнику дополнительных повышающих стабилизаторов напряжения, рис 2. В предварительные каскады с частотой преобразования около 500 кГц, в выходной каскад около 250-300 кГц, что означает использование длительности импульсов преобразователя с временами 2-3 мкс, время обратной связи снижается до 50-60 мкс. Напряжение с выхода сетевого блока питания накапливается в дополнительном конденсаторе С1, через дроссель L1 и диод VD1 поступает на конденсатор С2, расположенный максимально близко к усилительному каскаду. При работе усилителя напряжение питания на С2 начинает снижаться, сигнал обратной связи на схему управления включает повышающий преобразователь и выравнивает напряжение на С2, при этом на С1 напряжение продолжает снижаться. В зависимости от необходимой мощности можно использовать однофазный стабилизатор (рис 2а) или многофазный (рис 2б), что позволяет снизить размеры применяемых компонентов и тепловые потери в элементе.

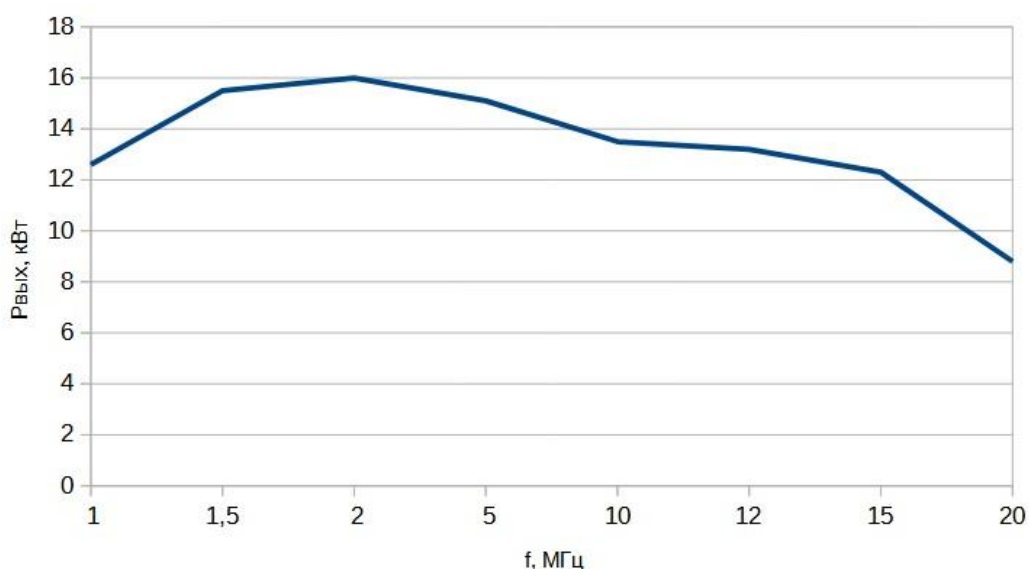


Рис 3. АЧХ передатчика ионозонда «Парус-А»

Следует учитывать неравномерность амплитудно-частотной характеристики передатчика ионозонда, составляющая в среднем порядка 2dB. На рис 3 приводится АЧХ передатчика «Парус-А» без программной корректировки по всему диапазону. Учитывая, в импульсе ДЧС излучаемые частоты могут отличаться до 1 МГц, амплитуда последнего элемента f_8 (рис. 1b) может быть ниже элемента f_1 на 4 dB. Неравномерность АЧХ усилителя дополнительно уменьшается изменением амплитуды с модулятора по диапазону по заданному закону. Все в комплексе позволяет уменьшить неравномерность АЧХ до 0,5 dB.

Ионозонд Парус-А является легитимным средством измерений в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений. Испытания в целях утверждения его в качестве сертифицированного средства определения характеристик ионосферы методом ВЗ были успешно завершены в 2012 г. что ионозонд применяется как средство измерения [7,8].

Выводы

Любые технические решения повышающие характеристики новых разрабатываемых ионозондов повышают точность измерения ионосферы, выявлять новые эффекты [6].

Литература

1. Погода Э.В. Диагностический ионосферный комплекс “Базис” и его модификации / Экспериментальные методы исследования ионосферы. М.: ИЗМИРАН. С. 145–152. 1981
2. Карпенко А.Л., Крашенинников И.В., Лифанцев Б.С., Сильвестров С.В., Сахтеров В.И. Ионозонд «ПАРУС», характеристики и возможности программного обеспечения для обработки ионограмм и прогноза радиосвязи// Сборник докладов XV Международной научно-технической конференции “RLNC-2009”. – Воронеж: НПФ «САКВОЕЕ» ООО, 2009.- Том 2, С.670-678.
3. Описание ионозонда DPS-4 // <http://www.digisonde.com/dps-4dmanual.html>
4. В.Ю. Ким В.П. Полиматиди «Способ получения ионограмм» Патент RU2552530C2_2013.08.01
5. С.А. Колесник, М.В. Пикалов, Р.К. Хаитов, А.А. Митаев, Е.С. Колесник. Результаты радиозондирования ионосферы на ионозонде "Томион" XXIV Всероссийская научная конференция «Распространение радиоволн» (РРВ-24) 29 июня – 05 июля 2014 года Иркутск: Изд-во ИСЗФ СО РАН с.198-199
6. А.В. Браницкий, В.Ю. Ким, В.П. Полиматиди. Быстрые вариации профилей электронной концентрации в ионосфере, обнаруженные с помощью быстродействующего ионозонда ИЗМИРАН // Геомагнетизм и аэрномия, 2020, том 60, № 1, с. 1–17
7. В.Т. Минлигареев. Описание Типа Станций Вертикального Радиозондирования Ионосферы Наземных «Парус-А» //Гелиогеофизические Исследования 2013 № 3. С. 71–76
8. Гивишвили Г.В., Крашенинников И.В., Лещенко Л.Н., Власов Ю.М., Кузьмин А.В. Ионозонд «Парус-А»: Функциональные возможности и перспективы развития //Гелиогеофизические исследования. 2013. № 4. С. 68-74.