

Г.И. Ильин, Н.Г. Хайруллин

СИСТЕМЫ НАКАЧКИ ЛИДАРОВ С ДОЗИРУЮЩИМ КОНДЕНСАТОРОМ

Рассмотрена работа инвертора с последовательной конденсаторной коммутацией в системах накачки лазеров лидарных комплексов. Получены основные соотношения для расчета систем накачки при изменении выходного параметра в широких пределах. Показано, что применение режимов грубого и точного зарядов в системах накачки на базе инверторов с последовательной конденсаторной коммутацией позволяет значительно повысить частоту следования зондирующих импульсов лидарных систем.

Системы накачки в значительной степени определяют точностные и динамические характеристики лидарных систем. Расширение функциональных возможностей систем накачки приводит к улучшению основных параметров лидаров. Возможность регулирования выходного напряжения источника накачки в широких пределах и изменение выходного параметра от одного разрядного импульса к другому в соответствии с заданным законом позволят расширить динамический диапазон лидарных комплексов.

В [1] показана возможность расширения динамического диапазона лидарной системы за счет переключения ослабителей оптического сигнала на входе приемной системы при каждом последующем зондирующем импульсе. В этом случае, применяя процедуру сживания при обработке лидарных сигналов от каждого зондирующего импульса, удастся значительно расширить динамический диапазон лидарной системы. Однако предложенная в [1] схема расширения динамического диапазона достаточно инерционна, т.к. переключение ослабителей производится механической системой с малым быстродействием. Параметры такой системы могут быть значительно улучшены, если применить электронные системы переключения.

Нами предлагается способ изменения выходного лазерного излучения за счет изменения напряжения на накопительном конденсаторе в каждый последующий момент времени. При этом изменение напряжения на конденсаторе может производиться с частотой порядка 100 и более герц. В этой связи значительный практический интерес для систем накачки лазеров лидарных систем представляют зарядные устройства, работающие по принципу автономных инверторов с последовательной коммутацией.

Однако работа инвертора с последовательной конденсаторной коммутацией исследована недостаточно с точки зрения обеспечения необходимых точностных и динамических характеристик зарядных устройств. Отсутствие такого анализа не позволяет оценить возможности этих схем и дать обоснованные рекомендации по их применению в широкодиапазонных лидарных и оптико-электронных измерительных системах. Все это обуславливает необходимость исследования полиимпульсных зарядных устройств на базе тиристорного ключа с последовательной конденсаторной коммутацией и выявления наиболее перспективных вариантов и способов построения систем накачки с зарядными устройствами такого типа.

Рассмотрим действие зарядного устройства такого типа при работе на активно-емкостную нагрузку. Наиболее часто встречаемая схема заряда с коммутируемым конденсатором представлена на рис. 1. Коммутирующий конденсатор включается в одно из плеч тиристорного моста. При отпирании тиристоров $T1-T4$ емкость C_k , имеющая, например, положительный потенциал на нижней обкладке конденсатора, перезаряжается по цепи: источник питания E , тиристор $T1$, дозирующий конденсатор C_k , тиристор $T4$, токоограничивающее сопротивление $R_{огр}$, накопительный конденсатор C_n и источник питания. После окончания перезаряда зарядный ток равен нулю, что приводит к запираанию тиристорных ключей $T1-T4$. Полярность напряжения на коммутирующем конденсаторе изменилась на противоположную. Теперь при следующем цикле заряда будет открываться второе плечо тиристорного моста $T3-T2$. Таким образом, в начале каждого зарядного цикла полярность напряжения на конденсаторе совпадает с полярностью источника питания и стимулирующее зарядное напряжение равно сумме этих напряжений.

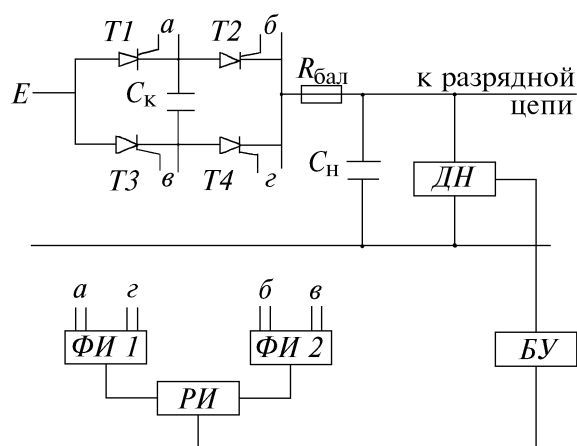


Рис. 1. Структурная схема зарядного устройства с дозирующим конденсатором: ДН – делитель напряжения; БУ – блок управления; РИ – распределитель импульсов запуска тиристоров; ФИ 1, ФИ 2 – формирователь импульса запуска тиристоров Т1 – Т4, Т2 – Т3 соответственно

Параллельно накопительному конденсатору C_n установлен делитель напряжения ДН, для согласования по напряжению высоковольтной и низковольтной частей устройства зарядной цепи. Сигнал, пропорциональный напряжению на накопительном конденсаторе C_n , поступает на блок управления (БУ). БУ формирует запускающие импульсы в том случае, когда напряжение на накопительном конденсаторе C_n меньше заданного. При достижении требуемого выходного напряжения на накопительном конденсаторе формирование запускающих импульсов в БУ прекращается. Тактовые импульсы с блока управления поступают на распределитель импульсов (РИ), основной задачей которого является поочередный запуск формирователей импульсов запуска ФИ-1, ФИ-2. Формирователь импульсов ФИ-1 обеспечивает запуск тиристоров Т1, Т4, а ФИ-2 – тиристоров Т2, Т3. Тем самым обеспечивается поочередный запуск плеч тиристорного моста.

Как показано в [2], напряжение на накопительном конденсаторе изменяется по закону

$$U_{C_n}(n) = E [1 - (N / (N + 1))^n], \quad (1)$$

где n – число циклов заряда накопительного конденсатора; $N = C_n / C_k$.

Рассмотрим основные соотношения между относительной погрешностью напряжения заряда и выбором элементов схемы C_k, C_n .

Перепишем выражение (1) в следующем виде:

$$U_{C_n} = E [1 - 1 / (1 + (1 / N))^n]. \quad (2)$$

Применяя разложение в ряд Тейлора и учитывая, что $N \gg 1$, после несложных преобразований получим

$$U_{C_n} = E [1 - N / (N + n)]. \quad (3)$$

Если пределы регулирования источника равны $U_{\min} - E$, то для нижнего предела регулирования можно записать

$$\gamma_n E = E [1 - N / (N + n)], \quad (4)$$

где $\gamma_n = U_{\min} / E$.

Давая приращение напряжения на накопительном конденсаторе на один цикл заряда и считая, что относительное приращение напряжения не должно превышать относительной погрешности установления выходного параметра α , получим

$$\alpha \gamma_n = N (1 / (N + n) - 1 / (N + n + 1)). \quad (5)$$

На базе выражений (4) и (5) можно получить

$$n_n = (1 - \alpha \gamma_n - \gamma_n) / \alpha ; \quad (6)$$

$$N = (1 - \alpha \gamma_n - \gamma_n) (1 - \gamma_n) / \alpha \gamma_n . \quad (7)$$

Из полученных выражений следует, что при заданных относительной погрешности установления выходного параметра и нижнем пределе регулирования можно определить число циклов заряда накопительного конденсатора и соотношение емкостей накопительного и коммутирующего конденсаторов.

Число циклов, необходимое для заряда накопительного конденсатора до напряжения $U_{тр}$ при напряжении источника питания E , определяется следующим выражением:

$$n = N \gamma / (1 - \gamma), \quad \gamma = U_{тр} / E . \quad (8)$$

Из (7) следует, что соотношение между емкостями накопительного и коммутирующего конденсаторов зависит как от относительной погрешности установления выходного параметра, так и от диапазона его изменения. На рис. 2 приведена зависимость $N = f(\gamma)$ при различных значениях допустимой относительной погрешности установления выходного параметра α . Из приведенных зависимостей видно, что расширение диапазона регулирования выходного параметра приводит к росту коэффициента N . Еще более заметный рост N связан с относительной погрешностью установления выходного параметра.

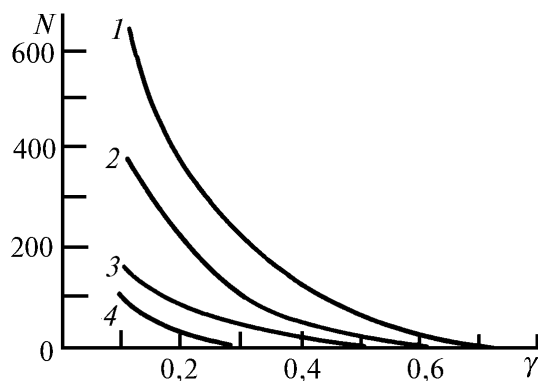


Рис. 2. Зависимость $N = f(\gamma)$ при различных относительных погрешностях установления выходного параметра: 1 – $\alpha = 0,01$; 2 – $0,02$; 3 – $0,05$; 4 – $0,1$

Чем больше верхний предел регулирования, тем меньше быстродействие зарядной цепи, т.к. увеличивается число зарядных циклов для достижения требуемого напряжения на накопительном конденсаторе. Если верхний предел равняется напряжению источника питания, то требуемое число циклов заряда стремится к бесконечности. Однако мы всегда задаемся некоторой погрешностью установления этого уровня, следовательно, можем принять $\gamma = 1 - \alpha$. С учетом этого замечания максимальное число циклов, необходимое для заряда конденсатора до напряжения E с относительной погрешностью α , равно

$$n_{max} = N (1 - \alpha) / \alpha . \quad (9)$$

На рис. 3 представлены графики зависимостей числа циклов заряда от величины верхнего предела регулирования при фиксированных нижних пределах регулирования и при требуемой относительной погрешности установления выходного параметра $\alpha = 0,1$.

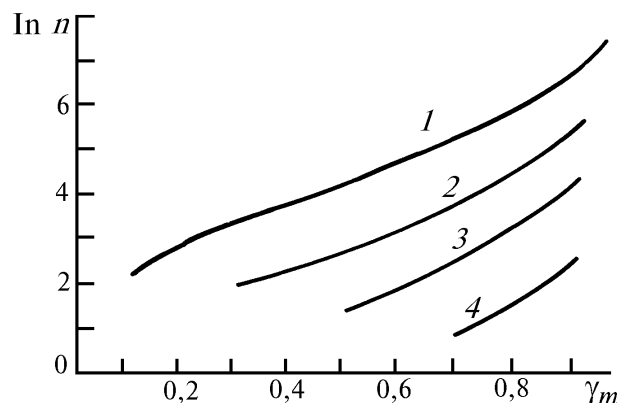


Рис. 3. Зависимость $n=f(\gamma)$ при относительной погрешности установления выходного параметра $\alpha = 0,1$ и различных значениях нижнего предела регулирования: 1 – $\gamma_n = 0,1$; 2 – $0,3$; 3 – $0,5$; 4 – $0,7$

С увеличением напряжения регулирования от $0,1$ до $0,95 E$ число зарядных циклов интенсивно растет и достигает для верхнего предела регулирования величины 1480 . Отсюда следует, что при частоте зарядных импульсов, равной 10 кГц, предельная частота зондирующих импульсов лидарной системы не превышает 7 Гц.

Следовательно, существенным недостатком системы накачки с дозирующим конденсатором, работающей в большом диапазоне регулирования, является малая частота следования зондирующих импульсов лидарной системы.

Существенно увеличить частоту следования зондирующих импульсов лидарного устройства можно за счет перехода к многодиапазонным системам заряда накопительного конденсатора или за счет применения грубого и точного зарядных циклов. Мы подробно остановимся на втором способе.

В этом случае в начале заряд накопительного конденсатора производится большими порциями энергии, что обеспечивает быстрый (грубый) заряд накопителя. Затем производится медленный дозаряд накопителя до требуемого напряжения малыми порциями энергии, обеспечивающими заданную точность установления выходного параметра.

Структурная схема устройства с грубым и точным зарядными циклами отличается от схемы зарядного устройства, приведенной на рис. 1, введением дополнительного дозирующего конденсатора, обеспечивающего грубый зарядный цикл. Подключение дополнительного конденсатора к основному дозирующему конденсатору осуществляется дополнительным коммутатором.

Остановимся на основных свойствах такого зарядного устройства. Для правильной работы устройства необходимо определить величины емкостей дозирующего и дополнительного конденсаторов с целью достижения максимального быстродействия зарядной цепи при заданной относительной погрешности установления выходного параметра и изменении пределов регулирования в широких диапазонах.

Требуемую точность заряда накопительного конденсатора необходимо обеспечить во всем диапазоне регулирования выходного параметра, поэтому величину основного дозирующего конденсатора можно определить из выражения (7). Таким образом, значение N_T определяется выражением

$$N_T = (1 - \alpha \gamma_n - \gamma_n) (1 - \gamma_n) / \alpha \gamma_n. \quad (10)$$

Определим количество циклов точного заряда, приходящегося на один цикл грубого заряда:

$$n_T = N_T / N_{гр} = N_T (\gamma_1 / (1 - \gamma_1) - \gamma_0 / (1 - \gamma_0)), \quad (11)$$

здесь $\gamma_1 = (n + 1) / (N_{гр} + n + 1)$, $\gamma_0 = n / (N_{гр} + n)$.

Из выражения (11) следует, что n не зависит от начального уровня заряда, определяемого выражением $(\gamma_0 E)$.

Общее число циклов грубого и точного заряда можно записать как:

$$n_{\text{общ}} = N_{\text{гр}} \gamma / (1 - \gamma) + n_1, \quad (12)$$

где n_1 – количество циклов точного заряда накопительного конденсатора.

Полагая, что на накопительном конденсаторе будет напряжение, соответствующее максимальному числу циклов точного заряда, (т.е. $n_1 = n_t$), получим

$$n_{\text{общ}} = N_{\text{гр}} \gamma / (1 - \gamma) + N_{\text{гр}} / N_{\text{т}}. \quad (13)$$

Определим величину $N_{\text{гр}}$, обеспечивающую минимальное значение $n_{\text{общ}}$, для чего вычислим производную $dn_{\text{общ}}/dN_{\text{гр}}$ и приравняем ее нулю. Отсюда получим

$$\gamma / (1 - \gamma) - N_{\text{т}} / N_{\text{гр}}^2 = 0 \quad (14)$$

или

$$N_{\text{гр}}^2 = N_{\text{т}} (1 - \gamma) / \gamma. \quad (15)$$

Максимальное значение $N_{\text{гр}}^2$ соответствует $\gamma = \gamma_m$, поэтому перепишем выражение в виде

$$N_{\text{гр}} = \sqrt{N_{\text{т}} (1 - \gamma_m) / \gamma_m}. \quad (16)$$

Максимальное число зарядных циклов, соответствующих заряду до напряжения U_m , можно представить как

$$n_{\text{общ}} = \gamma_m / (1 - \gamma_m) \sqrt{N_{\text{т}} (1 - \gamma_m) / \gamma_m} + \sqrt{(1 - \gamma_m) / \gamma} N_{\text{т}}. \quad (17)$$

Число циклов, необходимое для заряда накопительного конденсатора до напряжения $U_{C_{\text{н}}} = \gamma E$, определяется по формуле

$$n_{\text{общ}} = n_{\text{гр}} + n_t, \quad (18)$$

где $n_{\text{гр}} = N_{\text{гр}} (\gamma / (1 - \gamma))$ (при этом берется целая часть числа $n_{\text{гр}}$, т.к. заряд накопительного конденсатора проводится отдельными порциями).

Число циклов точного заряда можно определить из следующего выражения:

$$n_t = \{n_{\text{гр}}\} N_{\text{т}} / N_{\text{гр}}, \quad (19)$$

где $\{n_{\text{гр}}\}$ – дробная часть числа $n_{\text{гр}}$.

С учетом выражений (18) и (19) число циклов заряда до напряжения γE можно записать

$$n_{\text{общ}} = \text{целое от } (\gamma / (1 - \gamma) N_{\text{гр}}) + \{n_{\text{гр}}\} N_{\text{т}} / N_{\text{гр}}. \quad (20)$$

Определим выигрыш в числе циклов заряда по сравнению со схемой с одним дозирующим конденсатором при одинаковой относительной погрешности установки требуемого выходного параметра:

$$K_{\text{в}} = n_1 / n_t = \gamma N_{\text{т}} N_{\text{гр}} / (\gamma N_{\text{гр}} + (1 - \gamma) N_{\text{т}}). \quad (21)$$

Зависимость $K_{\text{в}}$ от величины γ представлена в виде графика на рис. 4 при различных значениях относительной погрешности установки выходного напряжения. Как видно из представленных графиков, с увеличением γ величина выигрыша $K_{\text{в}}$ возрастает и достигает максимальной величины при $\gamma = \gamma_m$. Чем выше точностные характеристики системы заряда накопительного конденсатора, тем больше величина выигрыша.

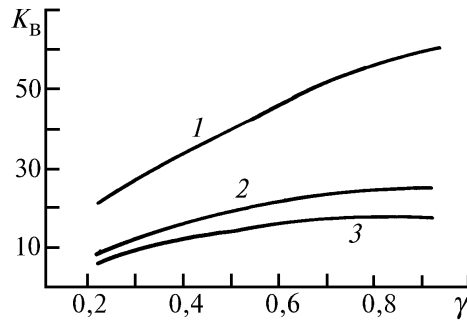


Рис. 4. Зависимость $K_B = f(\gamma)$ для одного дополнительного дозирующего конденсатора: 1 - $\alpha = 0,01$; 2 - $0,05$; 3 - $0,1$

Таким образом, применение цикла грубого заряда позволяет значительно увеличить быстродействие системы накачки твердотельных лазеров при высоких требованиях по точности установки выходного параметра.

1. Зуев В.Е., Кауль Б.В., Самохвалов И.В. и др. Лазерное зондирование промышленных аэрозолей. Новосибирск: Наука, 1986. 107 с.
2. Терновсков В.Т. Пути повышения эффективности и расширения функциональных возможностей передающих устройств оптико-электронных измерительных систем. Канд. дис. Казань, 1985. 197 с.

Казанский государственный
технический университет им. А.Н. Туполева

Поступила в редакцию
12 июля 1994 г.

G.I. Il'in, N.G. Khairullin. **Lidar Pumping Systems with Dosing Capacitor.**

An operation of an investor on base of series of capacitor switching in the laser pumping systems of lidars is treated in the paper. Main relationships are obtained for the pumping systems calculation at wide variation of an output parameter. The use of coarse and accurate charging mode at the pumping systems operation is shown to increase significantly the frequency of the sounding pulses repetition in the lidar systems.