

УДК 629.78+550.388.1

Бортовий прискорювач електронів на накопичувачах-ємностях: основні співвідношення та оцінки

М. А. Леонов

Київський Національний університет імені Тараса Шевченка

Надійшла до редакції 09.07.96

Прискорювач електронів на накопичувачах-ємностях для космічних та лабораторних експериментів в порівнянні з прискорювачами традиційної схеми прямого живлення має менші масу, об'єм та потужність енергоспоживання та інші цінні властивості. В статті детально описано принцип роботи та приводяться співвідношення, які можуть бути основою для розрахунку прискорювача.

ВСТУП

Прискорювач електронів на накопичувачах-ємностях (Куклинский, 1983; Манагадзе, 1983; Балебанов, 1983; Managadze, 1983) орієнтований на область застосування, де вимагається імпульсна інжекція, коли після зондуючого імпульсу інжекції настає пауза для реєстрації відгуку середовища на зондування, яка дещо довша від тривалості інжекції. Цей прискорювач потенційно здатний відповідати принципам енерго- та ресурсозберігаючої технології.

Однією з особливостей схеми прискорювача електронів на накопичувачах-ємностях — це широке поле вибору, гнучкість у досягненні компромісу між можливими характеристиками прискорювача, наявною матеріально-технічною базою та вимогами наукових задач експерименту. В цьому плані прискорювач електронів на накопичувачах надає фізику-експериментатору унікальні можливості.

В порівнянні з традиційною схемою прямого перетворення і прямого живлення (Paton, 1978), прискорювач цього типу має принципові особливості. Наприклад, крім модульованих імпульсів

будь-якої форми, він потенційно здатний інjektувати імпульси абсолютно гладкі, або з мінімально можливою паразитною модуляцією електронного пучка.

В статті описуються основні процеси, що відбуваються в прискорювачі електронів на накопичувачах-ємностях під час його роботи. Приводяться співвідношення, що лежать в основі розрахунку прискорювача цього типу.

Основні характеристики льотного зразка прискорювача такого типу, масо-габаритні показники та роботу під час експерименту планується описати в наступних статтях.

Для ілюстрації: в ракетному експерименті Г60С (Куклинский, 1983; Манагадзе, 1983; Балебанов, 1983; Managadze, 1983) під час інжекції прямокутних та трикутних імпульсів, що чергуються, з тривалістю імпульсів близько 0.6 с і 0.5 с відповідно та періодом їх слідування 5 с з максимальною енергією 6 кВ та струмом пучка 0.5 А прискорювач електронів споживав струм менше 15 А від бортової енергомережі напругою 30 В (тобто, замість 3 кВт споживав менше 450 Вт). При цьому маса прискорювача не перевищувала 30 кг.

Слід окремо підкреслити, що прискорювач цього

типу відрізняється характеристиками, які не тільки особливо цінні зараз з огляду на економічні обставини, але й важливі взагалі в космічних та в лабораторних експериментах.

ЗАГАЛЬНА СХЕМА ПРИСКОРЮВАЧА НА ЄМНІСНИХ НАКОПИЧУВАЧАХ ТА ОСНОВНІ ПРОЦЕСИ В НЬОМУ

Оскільки найчастіше в експериментах застосовується імпульсна інжекція електронного пучка, то й засновувати роботу прискорювача доцільно на такому принципі, який базується саме на імпульсному типі інжекції. Крім того, потрібно врахувати, що основними відхиленнями від норми в роботі прискорювача електронів є переважно газовий розряд та високовольтні пробої в проміжку «анод-катод» електронної гармати.

СХЕМА ПРИСКОРЮВАЧА ТА ЙОГО ПРИНЦИП ДІЇ

Принципова схема прискорювача показана на рис. 1. За джерело енергії для прискорення електронного пучка та живлення електронної гармати ЕГ використовується високовольтний ємнісний накопичувач ЄН достатньо великої ємності.

Електронна гармата ЕГ в момент інжекції вмикається послідовно в коло розряду високовольтного ємнісного накопичувача ЄН за допомогою лампи Л, яка може служити або простим ключом, або аналоговим регулюючим елементом. Тобто, керу-

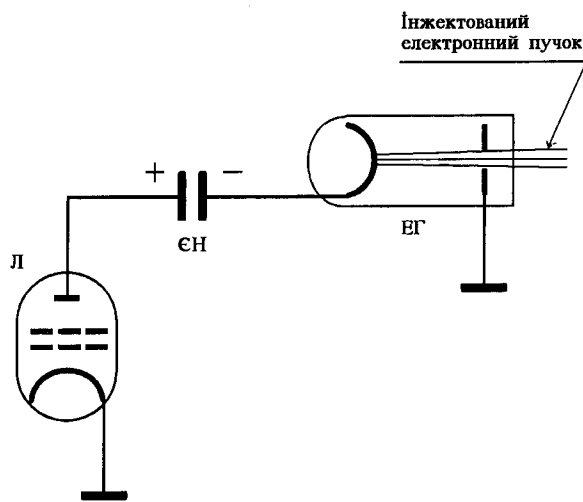


Рис. 1. Основна принципова схема прискорювача на ємнісних накопичувачах: ЄН — ємнісний накопичувач, Л — регулююча лампа, ЕГ — електронна гармата

вання струмом розряду ємності ЄН і, відповідно, струмом інжекції, виконується потужною лампою.

Очевидно, що в прискорювачі має місце баланс енергії для процесів заряду й розряду ємнісного накопичувача.

Ємнісний накопичувач ЄН неперервно підзаряджається від високовольтного зарядного пристрою (ВВЗП) невеликої потужності, достатньої для відновлення енергії, втраченої на прискорення електронного пучка в імпульсах інжекції. Розряд накопичувача ЄН великим струмом під час імпульсів інжекції компенсується неперервною підзарядкою невеликим струмом на протязі всього експерименту за допомогою ВВЗП.

За потужністю енергоспоживання прискорювач електронів з ємнісним накопичувачем, як це показано далі, може бути вигіднішим, ніж прискорювачі традиційних схем прямого перетворення і прямого живлення. Відношення потужності інжектваного електронного пучка до потужності, яка споживається прискорювачем на ємнісному накопичувачі від бортової енергомережі в значній мірі визначається величиною

$$\eta \frac{T_n + \tau_{inj}}{\tau_{inj}}$$

де τ_{inj} — тривалість імпульсу інжекції, а T_n — тривалість пауз між інжекціями, η — коефіцієнт корисної дії ВВЗП.

ПОПЕРЕДНІ ПРИПУЩЕННЯ

Для викладу суті зробимо деякі припущення обмежувального характеру, які, проте, не зачіпають головного та важливих деталей.

Найчастіше робота прискорювача організована за певною циклограмою і складається із елементарних циклів інжекції — груп імпульсів інжекції, що повторюються. Один такий цикл може містити в собі імпульси різноманітної форми: модульовані або немодульовані, прямокутні, трикутні чи іншої, складнішої форми.

Для простоти процеси в прискорювачі розглянемо на прикладі, коли циклограма інжекції складається тільки із імпульсів прямокутної форми. Нехай τ_{inj} — тривалість імпульсу інжекції, T_n — тривалість пауз, $I_{кр}$ — струм гармати (струм її катода) та U_r — прискорююча напруга на гарматі. В загальному випадку циклограму інжекції різноманітних за формою імпульсів можна звести до еквівалентної циклограми, коли інжектуються серії тільки прямокутних імпульсів, але з різними параметрами τ_{inj} , T_n , U_r , $I_{кр}$.

Можна прийняти, що для регульовальної лампи струм анода практично дорівнює струму її катода $I_{ал} \approx I_{кл}$. Звичайно в лампі типу пентода струм катода $I_{кл}$ розгалужується на струми анода $I_{ал}$, екранної сітки $I_{екр}$, та антидінатронної сітки. Але, наприклад, у пролітного пентода ПП1-0.5/10 струм антидінатронної сітки відсутній взагалі, а струмом екранної сітки можна знехтувати, оскільки

$$\frac{I_{екр}}{I_{кл}} \approx 0.002 \dots 0.006$$

при анодних напругах $U_{ал} > 300$ В.

Крім того, можна вважати, що струм анода лампи точно дорівнює струму катода гармати $I_{ал} \approx I_{кг}$, оскільки інші струми відгалуження у високовольтному колі (струми високовольтних дільників напруги і т. п.) можна зробити мінімальними.

Для простоти можна також вважати, що

$$I_{инж} = I_{кг},$$

тобто, струм катода гармати $I_{кг}$ точно дорівнює струму інжектованого пучка $I_{инж}$. Хоча в загальному випадку в будь-якій гарматі струм її катода $I_{кг}$ розгалужується на струм інжектованого електронного пучка $I_{инж}$ та струми електродів гармати. Для діодної гармати струм пучка $I_{инж}$ може відрізнитись від струму її катода $I_{кг}$ на величину струму анода гармати $I_{ар}$:

$$I_{кг} = I_{инж} + I_{ар}.$$

Величина струму $I_{ар}$ залежить від конструкції гармати і може становити значну величину. Але при розгляді процесів у прискорювачі це принципово не грає суттєвої ролі, оскільки струм $I_{ар}$ можна або врахувати при розрахунках, або звести до необхідного мінімуму при конструюванні гармати.

РОБОТА СХЕМИ ПРИСКОРЮВАЧА

Її можна описати графіками (рис. 2), використовуючи для кола живлення діодної гармати прості співвідношення:

$$U_{ен} = U_{л} + U_{г}, \quad (1)$$

$$I_{кл} = I_{ал} + I_{екр}, \quad (2)$$

$$I_{кг} = I_{ар} + I_{инж}, \quad (3)$$

де $U_{ен}$, $U_{л}$, $U_{г}$ — напруги на накопичувачі, лампі та гарматі відповідно, $I_{кл}$, $I_{ал}$, $I_{екр}$ — струми катода, анода лампи та її екранної сітки, $I_{кг}$, $I_{ар}$ —

струми катода та анода гармати, $I_{инж}$ — струм інжектованого електронного пучка.

Враховуємо, що на джерелі живлення — ємнісному накопичувачі — напруга залежить від часу:

$$U_{ен} = \frac{1}{C_{ен}} \int_0^t (i_{зар} - I_{кг}) dt, \quad (4)$$

де $C_{ен}$ — ємність накопичувача, $i_{зар}$ — зарядний струм від ВВЗП.

Електронна діодна гармата являється навантаженням для лампи в колі джерела живлення, котрим виступає ємнісний накопичувач. Це навантаження має нелінійну залежність від напруги, що може описуватись у вигляді

$$I_{кг} = p U_{г}^{3/2}, \quad (5)$$

де p — первеанс гармати.

На рис. 2 на сімейство вольт-амперних характеристик лампи $I_{ал} = I_{ал}(U_{ал}, U_{екр})$ накладена крива навантаження — вольт-амперна характеристика гармати (5).

Точка А перетину кривої навантаження з вольт-амперною характеристикою лампи, яка відповідає миттєвому значенню керуючої напруги екранної сітки $U_{екр}$, є графічним розв'язком системи рівнянь (1)–(5) і визначає миттєві напруги на гарматі $U_{г}$, на лампі $U_{л}$ і миттєвий струм катода гармати $I_{кг}$

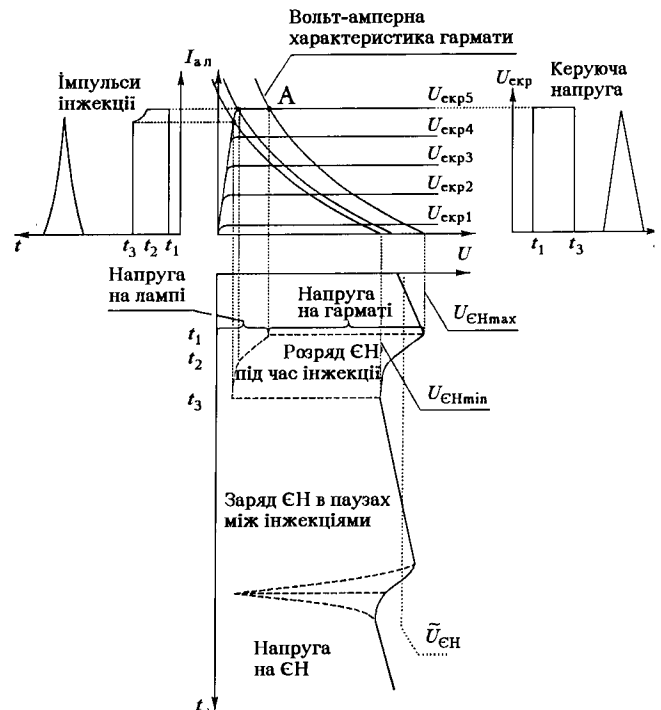


Рис. 2. Робота схеми прискорювача

для якогось певного моменту часу t і певної напруги накопичувача $U_{\text{сн}}$.

При інжекції послідовності імпульсів (рис. 2) напруга ємнісного накопичувача $U_{\text{сн}}$ «пульсує» між максимальним значенням $U_{\text{снmax}}$ і мінімальним $U_{\text{снmin}}$, зменшуючись під час інжекції $\tau_{\text{інж}}$ (при розряді струмом гармати $I_{\text{кр}}$) і збільшуючись за час паузи $T_{\text{п}}$ (при підзарядці струмом $i_{\text{зар}}$ від ВВЗП). Внаслідок цього паралельно осі напруг U плаває й крива навантаження $I_{\text{кр}} = pU_{\text{сн}}^{3/2}$.

ПАУЗА МІЖ ІМПУЛЬСАМИ ІНЖЕКЦІЇ
(ЗАРЯД НАКОПІЧУВАЧА)

Лампа в цей час закрита. Високовольтний зарядний пристрій неперервно працює, постійно заряджаючи високовольтний накопичувач струмом $i_{\text{зар}}$.

Тому напруга на накопичувачі, що в момент часу після закінчення імпульсу інжекції і на початку паузи рівна $U_{\text{снmin}}$, збільшується в кінці паузи на величину

$$\Delta U_{\text{сн}}^+ = \frac{1}{C_{\text{сн}}} \int_{\tau_{\text{інж}}}^{T_{\text{п}}} i_{\text{зар}} dt, \quad (7)$$

або грубо на

$$\Delta U_{\text{сн}}^+ = \frac{\tilde{i}_{\text{зар}} T_{\text{п}}}{C_{\text{сн}}}, \quad (8)$$

де $\tilde{i}_{\text{зар}}$ — зарядний струм, усереднений за час паузи між імпульсами інжекції $T_{\text{п}}$. При цьому в кінці паузи напруга на накопичувачі досягає максимального значення $U_{\text{снmax}}$.

ІМПУЛЬС ІНЖЕКЦІЇ (РОЗРЯД НАКОПІЧУВАЧА)

На початку імпульсу інжекції лампа відкривається й починає регулювати струм розряду накопичувача $I_{\text{ал}} = I_{\text{ал}}(t)$ у відповідності з формою керуючого сигналу. При цьому високовольтний зарядний пристрій (підкреслимо це) неперервно працює також і під час інжекції, постійно підзаряджаючи ємнісний накопичувач струмом $i_{\text{зар}}$.

Тоді за час імпульсу інжекції $\tau_{\text{інж}}$ напруга $U_{\text{сн}}$ на накопичувачі знижується на величину

$$\Delta U_{\text{сн}}^- = \frac{1}{C_{\text{сн}}} \int_0^{\tau_{\text{інж}}} (I_{\text{кр}} - i_{\text{зар}}) dt, \quad (9)$$

або приблизно на

$$\Delta U_{\text{сн}}^- = \frac{(\tilde{I}_{\text{кр}} - \tilde{i}_{\text{зар}}) \tau_{\text{інж}}}{C_{\text{сн}}}, \quad (10)$$

де $\tilde{I}_{\text{кр}}$ — струм катода гармати та $\tilde{i}_{\text{зар}}$ — струм заряду від ВВЗП, усереднені за час інжекції $\tau_{\text{інж}}$.

ЗВ'ЯЗОК ЄМНОСТІ НАКОПІЧУВАЧА
ТА ПОТУЖНОСТІ,
ЩО РОЗСІЮЄТЬСЯ НА АНОДІ ЛАМПИ

Коли лампа відкрита повністю, на ній падає мінімальна напруга $U_{\text{відкр}}$. Тому потужність, що губиться при цьому на відкритій лампі, буде мінімальною. А вершина імпульсу інжекції має форму, подібну до експоненти, але відмінну від неї через нелінійність вольт-амперної характеристики гармати.

Для інжекції імпульсів різноманітної форми лампа повинна працювати не як ключовий елемент, а як аналоговий регулюючий елемент. В такому випадку величина потужності, що розсіюється на аноді лампи під час імпульсу інжекції, може суттєво залежати від величини ємності накопичувача $C_{\text{сн}}$. Оптимізацію величини цієї потужності нескладно провести з урахуванням міркувань, викладених нижче.

Розглянемо рис. 3, що ілюструє інжекцію електронного пучка з одними і тими ж параметрами, але за допомогою двох майже ідентичних прискорювачів, котрі мають різні тільки ємності накопичувачів $C_{\text{сн1}}$ та $C_{\text{сн2}}$, причому $C_{\text{сн1}} < C_{\text{сн2}}$.

Для створення можливості інжектувати неспотворений імпульс з однаковими в обох випадках параметрами $\tau_{\text{інж}}$, $T_{\text{п}}$, $U_{\text{г}}$, $I_{\text{кр}}$ (назвемо його стандартним імпульсом) накопичувач меншої ємності $C_{\text{сн1}}$ перед початком імпульсу інжекції повинен бути зарядженим до більшої напруги $U_{\text{сн1}} > U_{\text{сн2}}$. Тільки

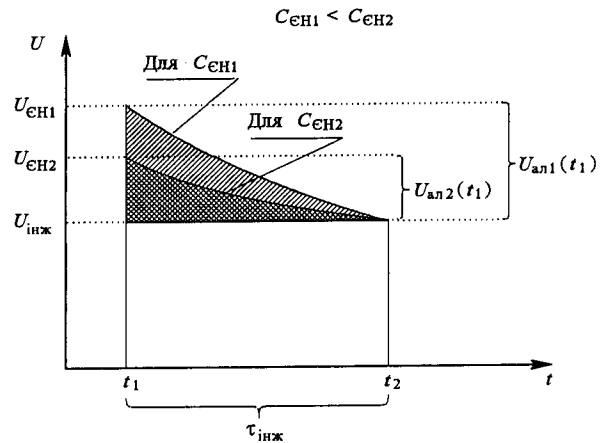


Рис. 3. Інжекція однакового прямокутного імпульсу двома прискорювачами з накопичувачами різної ємності

в такому випадку накопичувач $C_{\text{ен1}}$ не зможе розрядитись до напруги нижчої, ніж напруга $U_{\text{ал}} = U_{\text{А}}$, при якій лампа повністю відкривається і вже перестає бути регулятором струму інжекції.

Необхідна прискорююча напруга на гарматі завжди отримується як різниця

$$U_{\text{кр}} = U_{\text{ен}} + U_{\text{ал}},$$

тобто, для того щоб одержати необхідну неспотворену форму імпульса інжекції, необхідно створювати надлишок напруги на накопичувачі, який регулююча лампа завжди гасить на своєму аноді.

Наприклад, для прямокутного імпульса струму з плоскою вершиною ($I_{\text{кр}} = \text{const}$) напругу на гарматі $U_{\text{кр}}$ необхідно підтримувати сталою як з накопичувачем $C_{\text{ен1}}$, так і з накопичувачем $C_{\text{ен2}}$. Зрозуміло, що з вольт-амперною характеристикою діодної гармати $I_{\text{кр}} = pU_{\text{г}}^{3/2}$ отримати $I_{\text{кр}} = \text{const}$ можна, забезпечуючи $U_{\text{кр}} = \text{const}$. В обох випадках для виконання умови $U_{\text{кр}} = \text{const}$ на лампі, згідно з рівнянням (9), завжди потрібно гасити надлишок напруги накопичувача, що за величиною не менше ніж

$$\Delta U_{\text{ен}} = \Delta U_{\text{ен}}^-.$$

А оскільки $C_{\text{ен1}} < C_{\text{ен2}}$, то очевидно, що для інжекції однакового імпульсу в обох випадках заряджати ці накопичувачі треба по-різному, щоб було $U_{\text{ен1}} > U_{\text{ен2}}$.

Отже, потужності, що розсіюються на аноді лампи, відрізняються аналогічно напругам. При цьому, очевидно, що допустима для лампи імпульсна потужність $P_{\text{ал, доп}}$ не повинна перевищуватись, тобто треба, щоб

$$P_{\text{ал, доп}} \geq P_{\text{ал1}} > P_{\text{ал2}}.$$

Звідси втрати енергії

$$A_{\text{ал}} = \int_0^{\tau_{\text{инж}}} I_{\text{кр}} U_{\text{кр}} dt,$$

що розсіюються за час інжекції стандартного імпульсу на аноді лампи в двох прискорювачах, також відрізняються:

$$A_{\text{ал1}} > A_{\text{ал2}}.$$

Це ілюструє рис. 3, на якому заштриховані площі, що відповідають втратам $A_{\text{ал1}}$ та $A_{\text{ал2}}$.

Отже, в цих двох випадках при одній і тій самій потужності інжектваного пучка $P_{\text{инж}} = I_{\text{кр}} U_{\text{кр}}$ втрати потужності на лампі будуть більшими для прискорювача з накопичувачем меншої ємності. А більші втрати у високовольтному колі при одній і тій же корисній роботі, необхідній для інжекції, вимагатимуть і високовольтного зарядного пристрою більшої

потужності, а отже, й більшої маси та габаритів. Крім того, лампа буде працювати у більш важкому режимі, що може вплинути на надійність прискорювача в цілому.

Висновки

- Більша ємність накопичувача може забезпечити більший коефіцієнт корисної дії всього прискорювача, оскільки при цьому будуть меншими втрати енергії, що розсіюється на аноді лампи.
- Є оптимум для величини енергії, що розсіюється на аноді лампи, в залежності від ємності накопичувача. Зменшення ємності накопичувача з одного боку приводить до зменшення його маси та маси всього прискорювача, але з іншого боку це означає і більші втрати енергії, що розсіюється на аноді лампи.
- Є оптимуми для величин маси, об'єму та потужності енергоспоживання всього прискорювача в залежності від ємності накопичувача. Зменшення загальної маси та об'єму при зменшенні ємності накопичувача можливе, очевидно, до певної межі, яка залежить від максимально допустимої миттєвої потужності, що лампа здатна розсіювати на своєму аноді. Подальше зменшення ємності накопичувача може привести до збільшення загальної маси та об'єму прискорювача або через появу пристрою для відводу тепла від аноду лампи, або через необхідність застосування більш потужної лампи разом з більш потужним її обрамленням і т. п.

ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИН ЄМНОСТІ НАКОПИЧУВАЧА ТА ПОТУЖНОСТІ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ЗАРЯДНОГО ПРИСТРОЮ

Ємність накопичувача. Із графіків (рис. 2) легко бачити, що в стаціонарному режимі роботи прискорювача при нормальних умовах (відсутність високовольтних пробів чи газового розряду в гарматі) висока напруга на накопичувачі $U_{\text{ен}} = U_{\text{ен}}(t)$ «пудьсує» біля деякого середнього робочого значення $U_{\text{ен}}$.

За прийнятною амплітудою цих коливань напруги на накопичувачі

$$\Delta U_{\text{ен доп}} = U_{\text{ен max}} - U_{\text{ен min}}$$

якою можна обмежитись, щоб забезпечити одночасно і потрібну форму інжектваного імпульсу, і допустимий режим роботи лампи, легко визначити необхідну величину ємності накопичувача $C_{\text{ен}}$.

Отже, з рівняння (9) розряду накопичувача під час імпульсу інжекції маємо

$$C_{\text{ен}} = \frac{1}{\Delta U_{\text{ен}}^-} \int_0^{\tau_{\text{інж}}} (I_{\text{кр}} - i_{\text{зар}}) dt.$$

Або через усереднені параметри для грубої оцінки

$$C_{\text{ен}} \cong \frac{(\tilde{I}_{\text{кр}} - \tilde{i}_{\text{зар}})}{\Delta U_{\text{ен}}^-} \tau_{\text{інж}}.$$

Параметри $I_{\text{кр}}$ та $\tau_{\text{інж}}$ є заданими циклограмою інжекції. На амплітуду «пульсування» напруги накопичувача $\Delta U_{\text{ен}}^-$ можуть, як підкреслювалось вище, накладатись обмеження вимогами до форми імпульсу інжекції та гранично допустимій потужності, що лампа здатна розсіювати на своєму аноді.

Зарядний струм $i_{\text{зар}}$, як показано нижче в наступному розділі, визначається через параметри циклограми інжекції, й може бути виражений через заданий струм інжекції $I_{\text{інж}}$.

Потужність високовольтного зарядного пристрою. Оцінку потужності високовольтного зарядного пристрою (ВВЗП) проведемо, виходячи із умови балансу енергії в накопичувачі при його заряді та розряді в нормальних умовах роботи. В стаціонарному режимі роботи прискорювача, враховуючи співвідношення (7)–(10), для напруги на емнісному накопичувачі маємо

$$\Delta U_{\text{ен}} = \Delta U_{\text{ен}}^+,$$

і через усереднені величини

$$(\tilde{I}_{\text{кр}} - \tilde{i}_{\text{зар}}) \tau_{\text{інж}} = \tilde{i}_{\text{зар}} T_{\text{п}}.$$

Або, якщо ввести скважність імпульсів інжекції таким чином:

$$Q = \frac{T_{\text{п}} + \tau_{\text{інж}}}{\tau_{\text{інж}}},$$

то для оцінки середнього зарядного струму $\tilde{i}_{\text{зар}}$, який повинен давати ВВЗП в нормальному режимі роботи для забезпечення інжекції тільки прямокутних імпульсів, одержимо приблизне співвідношення

$$\tilde{i}_{\text{зар}} = \frac{\tilde{I}_{\text{кр}}}{Q}.$$

Враховуючи попередні припущення, потужність інжектваного імпульсу приблизно дорівнює $\tilde{P}_{\text{інж}} = \tilde{I}_{\text{кр}} \tilde{U}_{\text{кр}}$. Тому необхідну вихідну потужність ВВЗП (при інжекції тільки прямокутних імпульсів), усереднену за час інжекції $\tau_{\text{інж}}$, орієнтовно можна оцінити за грубою формулою

$$\tilde{P}_{\text{ВВЗП}} = \frac{\tilde{P}_{\text{інж}}}{Q}.$$

Тобто, ВВЗП може мати невелику потужність, яка в Q раз менша від потужності високовольтного перетворювача традиційної схеми з прямим живленням гармати і яка достатня лише для поповнення втрат енергії в емнісному накопичувачі, що йде на прискорення електронного пучка.

Загальний вигреш в потужності споживання всього прискорювача від бортової енергомережі легко оцінити по загальному бюджету енергії, тобто якщо в прискорювачі прослідкувати всі канали споживання та перетворення енергії, починаючи від бортового енергоджерела й закінчуючи інжекттованим пучком та всіма іншими розгалуженнями в споживанні енергії. Найвагоміша частина енергії йде через ВВЗП. Тому загальний вигреш в значній мірі залежить саме від потужності ВВЗП та від його коефіцієнта корисної дії.

В будь-якому конкретному випадку циклограма роботи прискорювача електронів може містити в собі елементарні цикли інжекції з загальною тривалістю цикла T_0 . Кожен такий цикл є послідовністю N імпульсів інжекції різноманітних тривалостей $\tau_{\text{інж},m}$, форм та амплітуд, яка повторюється. Загальні витрати енергії накопичувача за елементарний цикл інжекції

$$A_{\Sigma} = \sum_{m=1}^N \int_0^{\tau_m} I_{\text{кр}} (U_{\text{ен}} - U_{\text{кр}}) dt$$

складаються із корисної роботи, затраченої на прискорення електронного пучка, а також енергії, що даремно втрачається на лампі, на опорі стікання $\rho_{\text{ен}} = \rho_{\text{ен}}(U_{\text{ен}})$ через діелектрик накопичувача та високовольтній ізоляції і таке інше.

Тоді відношення

$$P_{\Sigma} = \frac{A_{\Sigma}}{T_0}$$

дасть грубу оцінку максимальної корисної потужності P_{Σ} на виході ВВЗП для забезпечення інжекції за потрібною циклограмою. А звідси, враховуючи можливий коефіцієнт корисної дії ВВЗП, легко зробити грубу оцінку максимальної потужності споживання ВВЗП від низьковольтного джерела бортової енергомережі.

Висновки

- Високовольтний зарядний пристрій може мати невелику потужність, достатню для поповнення втрат енергії в емнісному накопичувачі, що йдуть на прискорення інжектваного електронного пучка.
- Вигреш в потужності, що розуміється як відношення інжектваної потужності до потуж-

ності, що споживається від бортмережі, може бути значним і визначається величиною $Q = (T_p + \tau_{\text{инж}}) / \tau_{\text{инж}}$. Це тягне за собою також і значне зменшення маси та об'єму всього прискорювача електронів.

- Куклинский В. Д., Леонов Н. А., Манагадзе Г. Г. и др.* Ускоритель электронов на емкостных накопителях для активных экспериментов в космосе. — М., 1983.—18 с.— (Препринт / АН СССР, ИКИ; № 860).
- Манагадзе Г. Г., Мартинсон А. А., Леонов Н. А., Седов Н. А.* Бортовая малогабаритная система инжекции электронов на накопителях для активных ракетно-космических экспериментов // Активные эксперименты в космосе: Тр. ИПГ. — 1983.—Вып. 5.
- Балебанов В. М., Гагуа Т. И., Клос З. и др.* Особенности плазменных процессов, возникающих в зоне инжекции пучка электронов с высотного зонда. Исследование пучково-плазменного разряда. — М., 1983.—38 с.—(Препринт / АН СССР, ИКИ; №781).
- Managadze G. G., Balebanov V. M., Burchuladze A. A., et al.* Potential observations of an electron-emitting rocket payload and other relayed plasma measurements // Planet. Space Sci.—1988.—36, N 4.—P. 399—410.
- Paton B. E., Dudko D. A., Bernadsky V. N. et al.* A powerful electron accelerator for active space experiments // Space Sci. Instrum.—1978.—4, N 2—3.—P. 131—138.

THE ON-BOARD ELECTRON ACCELERATOR WITH A CAPACITANCE STORAGE: MAIN CORRELATIONS AND ESTIMATIONS

M. A. Leonov

An on-board electron beam accelerator with a capacitance storage is described. The accelerator is thought to be the most suitable for pulse injection. Such an accelerator conforms to the principles of the resource and energy saving technology. The accelerator has many important features, it provides many unique possibilities to a physicist. The main features of this accelerator type are as follows:

- low power of the accelerator on-board supply as against traditional direct supply systems;
- small general mass and volume of the accelerator in comparison with traditional direct supply systems;
- low cost of the whole device;
- possibility to inject pulses with absolutely smooth vertices;
- flexible conjugation of electron accelerator characteristics with the scientific tasks of an experiment and the present-day component types.

Many of these features are very important now from the economic reasons, especially in rocket or satellite experiments. The main processes in the accelerator are considered and the basic correlations of accelerator parameters are given. These correlations may be used for engineering calculations. The accelerator performance and the peculiarities of operation in typical experimental conditions will be published in detail elsewhere.