

О ВОЗМОЖНОСТИ УМНОЖЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ
В ДЖОЗЕФСОНОВСКИХ СТРУКТУРАХ

В.К. Семенов

В последнее время интенсивно исследуются различные применения однородных джозефсоновских структур, в которых процессы генерации отдельных переходов взаимно синхронизованы. Долгое время наиболее перспективным для этого считался механизм синхронизации гармоническим сигналом, который либо задается внешним генератором, либо формируется в самой джозефсоновской структуре, но в обоих случаях одинаково действует на все переходы [1]. Однако недавно было продемонстрировано, что и во многих отношениях противоположный механизм локальной синхронизации бегущими вдоль структуры короткими импульсами джозефсоновской генерации представляет значительный интерес для цифровых применений [2]. Целью настоящей работы является рассмотрение возможности использования такой синхронизации в однородных джозефсоновских структурах для умножения постоянного или медленно меняющегося напряжения.

На рис. 1 схематично изображен фрагмент структуры, которую можно рассматривать как цепочку одинаковых многоконтактных интерферометров, последовательно соединенных по постоянному току индуктивностями L_d . Внутри интерферометров соседние переходы связаны индуктивностями L_i и L'_i , а крайние переходы соседних интерферометров — проходными $R_S L'_S$ цепочками. Таким образом все переходы в структуре имеют связь со своими ближайшими соседями. Каждый импульс джозефсоновской генерации, возбужденный в переходе J_1 под действием постоянного входного напряжения U_1 , инициирует аналогичный импульс в переходе J_2 , который инициирует импульс в переходе J_3 и так далее, вплоть до самого конца структуры. При этом, согласно известному соотношению Джозефсона, средние напряжения на всех переходах будут равны U_1 , а поскольку все интерферометры включены последовательно, общее напряжение будет равно в N раз больше, где N — число интерферометров в структуре.

Для реализации такого режима работы необходимо выполнение ряда условий, из которых можно выделить следующие. Во-первых, общий ток питания I_B внутри каждого интерферометра должен распределяться индуктивностями L_i, L'_i по переходам пропорционально их критическим токам $I_{c,i}$ [3]. Это условие выполняется, если

$$L_i \times \sum_{j=1}^i I_{c,j} = L'_i \times \sum_{j=i+1}^K I_{c,j}, \quad 0 < i < K, \quad (1)$$

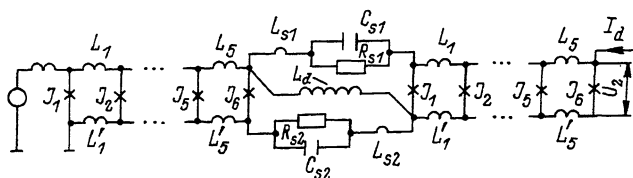


Рис. 1.

где K — число переходов в интерферометре. Во-вторых, на характерной частоте импульса $\omega = 2\pi/\tau$, где τ — его длительность, должны выполняться сильные неравенства между импедансом проходных цепочек $Z_S = Z_{S1} + Z_{S2}$, асимптотическим сопротивлением R входного перехода интерферометра J_1 и импедансом связи по постоянному току $Z_d = j\omega L_d$:

$$|Z_S| \ll R \ll |Z_d|. \quad (2)$$

В-третьих, для плазменных колебаний в структуре должно выполняться условие большого затухания ($\beta_c < 1$).

Удовлетворяющая этим условиям структура, может быть построена, например, на основе шунтированных туннельных контактов [2], в которой индуктивные связи представляют собой расположенные над экраном сверхпроводниковые пленки, а проходные $R_S C_S$ цепочки — SIN переходы [4, 5]. Для численного моделирования были взяты следующие значения параметров структуры: $I_{C1} = 0.25$ мА, $I_{C2} = 0.25$ мА, $I_{C3} = 0.37$ мА, $I_{C4} = 0.5$ мА, $I_{C5} = 0.75$ мА, $I_{C6} = 1.0$ мА, $L_1 = 5.8$ пГн, $L'_1 = 0.58$ пГн, $L_2 = 3.2$ пГн, $L'_2 = 0.65$ пГн, $L_3 = 1.6$ пГн, $L'_3 = 0.65$ пГн, $L_4 = 0.79$ пГн, $L'_4 = 0.61$ пГн, $L_5 = 0.32$ пГн, $L'_5 = 0.63$ пГн, $L_d = 25$ пГн, $L_{S1} = 0.65$ пГн, $L_{S2} = 1.3$ пГн, $R_{S1} = 0.33$ Ом, $R_{S2} = 0.67$ Ом, $C_{S1} = 50$ пФ, $C_{S2} = 25$ пФ, $R = 1$ Ом. Считалось, что использованы шунты, при которых $\beta_c = 1$, а эффективное характерное напряжение V_c при этом составляет 0.25 мВ.

Для этих параметров и ряда входных напряжений U_1 были вычислены зависимости напряжения на втором интерферометре U_2 от тока питания I_b . Одна из них (при $U_1 = 75$ мкВ) показана сплошной линией на рис. 2. Интересующая нас область импульсной синхронизации, когда напряжения на интерферометрах равны, соответствует вертикальному участку на этой зависимости. Для других входных напряжений на рисунке отмечены (кружками) только границы этой области. Видно, что диапазон области синхронизации весьма велик: при малых напряжениях он достигает 50% от критического тока интерферометров ($I_c = 2.8$ мА).

Таким образом, в работе впервые показано, что процессы импульсной синхронизации, при которых напряжение, приложенное к первому звену однородной джозефсоновской структуры, точно воспроизводится на всех остальных последовательно соединенных

звеньях, могут найти применение для точного умножения постоянного или медленно меняющегося напряжения. Построенные на этом принципе умножители напряжения могут оказаться полезными для различных метрологических применений. Оценки верхней частоты таких умножителей лежат в диапазоне от 0.1 ГГц до 1 ГГц.

В заключение автор выражает благодарность К.К. Лихареву за полезные замечания и поддержку в работе.

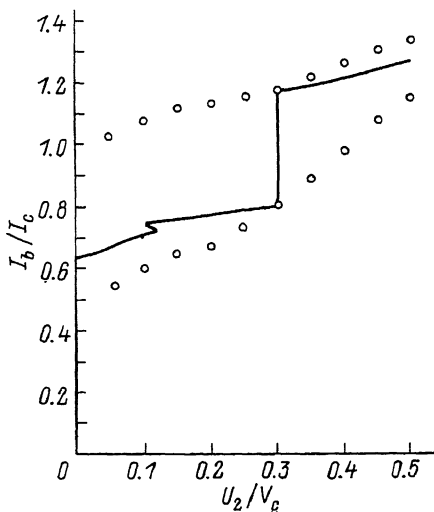


Рис. 2.

Л и т е р а т у р а

- [1] Л и х а р е в К.К. Введение в динамику джозефсоновских переходов. М.: Наука, 1985. 320 с.
- [2] В ы с т а в к и н А.Н., К о ш е л е ц В.П. и др. - Письма в ЖТФ, 1987, т.13, № 5, с. 286-290.
- [3] L i k h a r e v K.K., S e m e n o v V.K. at al. - IEEE Trans, 1979, v. MAG-15, N 1, p. 420-423.
- [4] Г о л у б о в А.А., К у п р и я н о в М.Ю. - Микроэлектроника, 1985, т. 14, № 5, с. 428-430.
- [5] S m i t h L. Superconductive tunneling junction resistor and method of fabrication - Pat. USA, 1985, N 4536780, MKU; H 01 L 39/22.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Поступило в Редакцию
4 июля 1987 г.