

К. т. н. Л. И. ПАНОВ, В. Г. САПЕГИН

Украина, г. Одесса, Гос. политехнический ун-т

СИНХРОНИЗАЦИЯ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ПЭВМ

Разработан пакет прикладных программ для различных вариантов решения задачи синхронизации технологических операций.

The application package for different variations of tasks solution of processes synchronisation has been developed.

К задачам, требующим решения в процессе проектирования технологического процесса (ТП) сборки узлов на печатных платах, относятся задачи распределения технологических операций (ТО) и технологических переходов (ТПр) по рабочим местам участка сборки и монтажа.

Известен ряд теоретических и эмпирических методов решения задачи оптимизации процессов сборки РЭА [1–5], но не все из них практичны с точки зрения необходимых критериев и учета конкретных производственных условий.

Задачи, связанные с распределением ТО (ТПр) по рабочим местам участка сборки и монтажа, могут содержать различные ограничения и требования в зависимости от номенклатуры, количества, конструкции компонентов, от состава ТО (ТПр) процесса сборки и т. д. Поскольку универсального метода, позволяющего удовлетворить все запросы и при этом обеспечить допустимый уровень синхронизации, нет, выбор того или иного метода определяется конкретными условиями задачи.

В настоящей работе предлагается пакет прикладных программ (ППП), основанный на использовании разных методов (алгоритмов) и критериев, в совокупности позволяющих охватить широкий спектр практических задач, обеспечив при этом высокие показатели синхронизации.

Постановка задачи

На участке (в цехе) есть N рабочих мест (РМ), в результате решения задачи синтеза сформировано множество ТО (ТПр):

$$Q = \{q_1, q_2, \dots, q_M\},$$

где q_s — технологическая операция ($s=1, 2, \dots, M$);

M — общее количество ТО (ТПр) для всего ТП.

Элементам множества Q поставлено в соответствие множество T :

$$T = \{t_1, t_2, \dots, t_M\},$$

где t_s — трудоемкость (норма времени на выполнение ТО (ТПр)).

Необходимо:

1. Распределить Q на N рабочих местах с условием выполнения программы выпуска в заданный календарный срок. При этом необходимо учитывать ограничения конструкторского и технологического характера на последовательность ТО (ТПр).

2. Оптимизировать параметры ТП:

а) минимизировать суммарную трудоемкость ТП:

$$T_{\Sigma} = r N_p \rightarrow T_{\min},$$

где r — такт ТП;

N_p — рассчитанное число РМ;

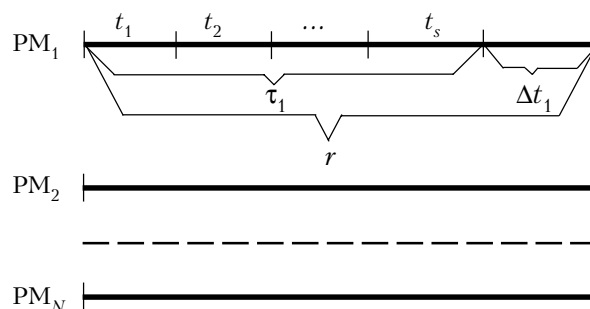
T_{\min} — минимальный цикл ТП;

б) минимизировать количество используемых РМ:

$$N_p < N,$$

где N — имеющееся число РМ.

На рисунке структурно показаны параметры ТП.



Анализ задачи синхронизации

Окончательное упорядочение ТО (ТПр) и адаптация структурной модели ТП сборки РЭА к условиям конкретного производства, на котором планируется выпуск изделий, должны осуществляться с учетом факторов экономико-организационного характера (планируемый объем выпуска, принятые на данном производстве методы организации, количество РМ и т. д.). При этом задача сводится к распределению ТО (ТПр) по РМ участка сборки, к упорядочению ТО (ТПр) внутри каждого РМ, ра-

бочих мест на свободном участке, а также к оптимизации временных параметров ТП сборки РЭА.

На результат распределения ТО (ТПр) и оптимизацию параметров конвейерной линии оказывают влияние следующие факторы:

- 1) форма организации ТП сборки;
- 2) наличие специализированных РМ;
- 3) число типов специализированных РМ;
- 4) максимальное число РМ каждой специализации;
- 5) группирование ТО (ТПр);
- 6) объем выпуска изделий;
- 7) значения трудоемкостей ТО (ТПр);
- 8) искусственная неравномерность загрузки РМ;
- 9) общее количество РМ участка сборки.

Для решения задачи распределения и оптимизации нужно при постоянном числе РМ стремиться к уменьшению цикла ТП (циклов РМ) и такта выпуска. Это уменьшает потери времени (рассинхронизацию) на каждом РМ и, соответственно, на участке (в цехе).

Цикл рабочего места — суммарная трудоемкость ТО (ТПр), выполняемых на одном РМ.

$$\tau_i = \sum_{j=1}^K t_j, \quad (1)$$

где t_j — трудоемкость j -ой операции ($j=1, 2, \dots, K$);
 K — количество операций, выполняемых на одном РМ;

$i=1, 2, \dots, N$ — номер рабочего места.

Такт выпуска — интервал времени, через который периодически производится выпуск изделий (заготовок) определенных наименований:

$$r = F_d / V, \quad (2)$$

где F_d — действительный фонд рабочего времени, ч;
 V — расчетная программа выпуска, шт.

Цикл РМ должен быть меньше такта либо равен ему. Абсолютная рассинхронизация для i -го рабочего места — разница между тактом и i -м циклом при $\tau_i \leq r$:

$$\Delta t_i = r - \tau_i. \quad (3)$$

Относительная рассинхронизация для i -го рабочего места — процентное отношение абсолютной рассинхронизации к такту:

$$\delta t_i = (\Delta t_i / r) \cdot 100\%. \quad (4)$$

Для всего участка сборки (конвейерной линии) абсолютная и относительная рассинхронизация определяются по следующим формулам:

$$\Delta T = \sum_{i=1}^N \Delta t_i = \sum_{i=1}^N (r - \tau_i) = rN - \sum_{s=1}^M t_s; \quad (5)$$

$$\delta T = (\Delta T / rN) \cdot 100\%. \quad (6)$$

При неизменном числе РМ минимизация такта и цикла позволяет повысить производительность ТП и уменьшить издержки производства. Исходя из этого такт и цикл можно выбрать в качестве одного из важнейших критериев оптимизации.

Перечислим факторы и параметры, влияющие на цикл:

- 1) количество ТО (ТПр), их трудоемкостей;
- 2) соотношение значений трудоемкостей ТО (ТПр) между собой и тактом;
- 3) количество РМ участка сборки;
- 4) количество групп специализированных РМ, число мест каждой специализации;
- 5) использование принципа группирования однотипных ТО (ТПр);
- 6) размер обрабатываемой партии;
- 7) потери рабочего времени из-за рассинхронизации РМ.

Минимально возможное значение цикла — суммарная трудоемкость ТО (ТПр). Это возможно при выполнении всех сборочных операций на одном РМ. Реально цикл ТП сборки всегда больше его минимального значения на величину абсолютной рассинхронизации.

На уровень рассинхронизации РМ и ТП в целом влияют:

- 1) трудоемкость ТО (ТПр);
- 2) количество ТО (ТПр);
- 3) соотношение трудоемкостей ТО (ТПр) между собой и с тактом;
- 4) количество РМ участка сборки.

Чем больше число ТО (ТПр) и чем меньше значения трудоемкостей, тем легче осуществить синхронизацию операций. Если значения трудоемкостей отличаются незначительно, равны или кратны друг другу и такту, то можно обеспечить достаточный высокий уровень синхронизации.

Если в качестве основного критерия оптимизации выбирать цикл ТП, то целевая функция формирования последовательности ТО (ТПр) имеет вид

$$T = \min(\max(\tau_i)N); \quad (7)$$

$$\Delta T = (\max(\tau_i)N - \sum_{i=1}^{N_p} \tau_i) \rightarrow 0, \quad (8)$$

где T — цикл ТП сборки.

При использовании в качестве основного критерия такта целевая функция имеет вид

$$r = \max \tau_i \rightarrow \tau_{cp}, \quad (9)$$

где τ_{cp} — среднее значение цикла для всех РМ.

Если при распределении ТО (ТПр) по РМ используется критерий минимизации количества РМ, то должно выполняться неравенство

$$N_p \leq N. \quad (10)$$

Целевая функция в этом случае имеет вид

$$N_p \rightarrow \sum_{s=1}^M t_s / r. \quad (11)$$

Если одним из критериев оптимизации является учет ограничений на последовательность выполнения ТО (ТПр), то при распределении ТО (ТПр) по РМ необходимо строгое соблюдение условий предшествования, которые задаются графом $G=(V, E)$,

его вершины ($V=\{v_s\}, s=\overline{1,m}$) соответствуют множеству ТО (ТПр), а дуги ($E=\{l_f\}, f=\overline{1,d}$) символизируют ограничения на последовательность выполнения ТО (ТПр).

Методы решения задачи синхронизации, лежащие в основе разработанных алгоритмов и ППП

Задача распределения может быть решена использованием точных и эвристических методов. Решение задачи синхронизации точными методами с учетом размерности реальных задач может занимать немало времени, накладывая при этом высокие требования к аппаратному обеспечению. В большинстве случаев в таком подходе нет необходимости.

Ниже рассмотрены три эвристических метода, на основе которых разработаны алгоритмы и их программная реализация, адаптированная к использованию на IBM-совместимых ПЭВМ.

Методы основаны на использовании разных целевых функций при решении задачи распределения.

Метод Сущинского – Бурикова [1]. Предназначен для решения задачи синхронизации по критерию минимизации суммарной рассинхронизации (7), (8).

Суть метода заключается в последовательном распределении упорядоченных по признаку невозрастания трудоемкостей ТО (ТПр) на каждое РМ. При этом переход на последующее РМ осуществляется если цикл РМ равен такту либо когда подстановка последующей трудоемкости превышает такт (при этом рассматриваются все возможные варианты). Если распределить все ТО (ТПр) при данном количестве РМ не удастся, такт увеличивается на единицу и процесс распределения повторяется.

Распределение ТО (ТПр) подобным методом базируется на заданном такте (такт рассчитывается исходя из действительного фонда рабочего времени в плановом периоде и объема выпуска изделий (2)). Такой подход позволяет минимизировать количество используемых РМ, поскольку все трудоемкости при заданном такте могут уложиться в число РМ меньшее, чем имеющееся в распоряжении предприятия.

Метод позволяет обеспечить высокий уровень синхронизации (90 – 98%) при широкой номенклатуре значений трудоемкостей. Существенной особенностью является возможность различий в количестве ТО (ТПр), распределенных на первые и последние РМ. Это связано с тем, что при распределении на первые РМ задействованы все трудоемкости, а на последние распределяются оставшиеся.

Метод Сущинского – Бурикова не учитывает условий предшествования. Исходными данными являются: действительный фонд рабочего времени; расчетная программа выпуска; количество РМ; общее количество ТО (ТПр); трудоемкость каждой ТО (ТПр).

Метод подобных комплектов [2]. Предназначен для решения задачи синхронизации по критерию минимизации такта при фиксированном количестве РМ (9).

Такт принимается равным максимальному циклу РМ.

Формирование ТО (ТПр) для каждого РМ осуществляется при обеспечении подобия технологических ком-

плектов (совокупность тех элементов, которые обрабатываются на данном РМ) для различных РМ участка сборки.

Метод заключается в следующем. Множество трудоемкостей упорядочивается по убыванию. Невозрастающий ряд трудоемкостей можно с определенной степенью точности представить как натуральный ряд чисел. Поэтому если на различные РМ размещать попарно равноудаленные элементы, то можно предположить, что циклы РМ будут близки друг другу (а в некоторых случаях и одинаковы). В то же время количество ТО на РМ будет одинаковым, если общее количество трудоемкостей кратно числу РМ. Для формирования такого ряда множество трудоемкостей распределяется в матрицу $N \times K$, где N – количество РМ, K – максимальное количество операций, выполняемых на одном РМ, первые и нечетные столбцы – сверху вниз, вторые и четные – снизу вверх.

Если общее число заданных ТО (ТПр) не кратно количеству РМ (на РМ выполняется разное их количество), то максимальное количество ТО (ТПр), выполняемых на одном РМ, может быть рассчитано с округлением до ближайшего целого, а в матрице в недостающие позиции вставлены нулевые (фиктивные) значения.

Следующим этапом распределения является оптимизация (улучшение уровня синхронизации). Для ее осуществления меняются местами трудоемкости.

В рассматриваемом методе для оптимизации параметров ТП меняются местами трудоемкости РМ с максимальным и минимальным циклами, проверяется эффективность такой замены, и все это проводится до тех пор, пока не будет достигнут заданный уровень относительной рассинхронизации либо каждая новая итерация не перестанет давать ощутимое улучшение. Однако такой подход не использует (в ряде случаев) имеющуюся возможность обеспечить уровень синхронизации выше заданного и осуществляет множество нерезультативных замен элементов. Поэтому оптимизационный этап был изменен следующим образом.

Для осуществления замены подбираются только те трудоемкости, которые могут принести максимально возможный полезный результат. Разность подходящей для замены пары (Δt_j) должна удовлетворять условию

$$\Delta t_j \rightarrow (\tau_{\max} - \tau_{\min}) / 2, \tag{12}$$

при этом область допустимых значений имеет вид

$$0 < \Delta t_j < (\tau_{\max} - \tau_{\min}), \tag{13}$$

где τ_{\max} , τ_{\min} – максимальный и минимальный цикл РМ, соответственно.

Распределение считается законченным, если подходящая пара для замены отсутствует.

Использование метода подобных комплектов позволяет обеспечить высокий уровень синхронизации при большой скорости расчета. Метод также не учитывает ограничения предшествования. Исходными данными для выполнения распределения являются: количество РМ; максимальное количество операций, выполняемых на одном РМ; общее количество ТО (ТПр); трудоемкость каждой операции.

Метод, учитывающий ограничения на последовательность ТО (ТПр) и специализацию РМ [2]. Предназна-

чен для решения задачи синхронизации по критерию минимизации суммарной рассинхронизации при соблюдении условий предшествования.

Метод позволяет на основе графа ограничений, содержащего V вершин ($V=M$ — общему числу ТО (ТПр)), сформировать прямую последовательность операций (по номерам), в которой они должны быть уложены по соответствующим РМ на основе заданного такта. Граф не должен иметь петель и циклов, т. к. это приводит к противоречивым ситуациям.

Формирование прямой последовательности производится следующим образом. В первую очередь распределению подлежат операции, которым не предшествуют никакие другие. Если таких ТО (ТПр) несколько, больший приоритет имеют те операции, которые являются собой единственное ограничение для последующих ТО (ТПр). Следующим этапом является исключение из графа вершин, которые попали в прямую последовательность. Подобные действия повторяются до тех пор, пока вся последовательность не будет сформирована.

Последующие действия связаны с распределением значений трудоемкостей по соответствующим номерам сформированной последовательности. Переход для распределения на следующее РМ осуществляется если

$$\sum_{j=1}^K t_j = r \quad \text{или} \quad t_{j \min} \geq r - \sum_{j=1}^K t_j. \quad (14)$$

Использование описанного метода позволяет учесть ограничения на последовательность, с высокой скоростью производить распределение ТО (ТПр) по РМ, минимизировать число РМ, однако при этом достигается не всегда высокий уровень синхронизации.

Исходными данными являются: количество РМ; граф ограничений на последовательность ТО (ТПр); трудоемкость каждой ТО (ТПр).

Описание разработанного ППП синхронизации конвейерных линий

На основе поставленной задачи и разработанных алгоритмов, основанных на вышеописанных методах, реализован ППП, предназначенный для использования на IBM-совместимых компьютерах.

В ППП входят четыре программы на языке QUICK BASIC. Каждая программа осуществляет распределение ТО (ТПр) по РМ и выполняет оптимизацию параметров поточной конвейерной линии, но в их основу положены разные методы (алгоритмы) и критерии.

Ниже описаны характерные особенности каждой программы, составляющей ППП.

Программа СБ-1. Реализует алгоритм, основанный на методе Сушинского — Бурикова.

Размер EXE-модуля — 60902 байт.

Исходные данные (ИД): действительный фонд рабочего времени, мин; расчетная программа выпуска, шт; количество РМ; общее количество ТО (ТПр); трудоемкость каждой ТО (ТПр), с.

Ввод ИД осуществляется в диалоговом режиме (запрос-ответ). Следует отметить, что ввод действительного фонда рабочего времени и расчетной программы выпус-

ка необходимо приближенно согласовывать с количеством РМ, имеющихся в распоряжении предприятия, и общим числом трудоемкостей. Невыполнение этого условия может привести к длительному расчету программы результатов распределения, поскольку большое число трудоемкостей при малом числе РМ может не уложиться в рассчитанный такт. При возникновении подобной ситуации такт через каждую итерацию будет увеличиваться на единицу до появления возможности полного распределения всех трудоемкостей. В программе предусмотрена возможность наблюдения за состоянием такта в процессе расчета, если количество итераций превышает единицу.

Результат расчета программа выдает в виде ряда, состоящего из N строк, где N — количество РМ. В каждой строке расположены соответствующие трудоемкости (выполняемые на этом месте). С учетом распределения программой определяются параметры ТП — такт, цикл РМ, а также абсолютная и относительная рассинхронизация для каждого из РМ и всего ТП, позволяющие судить о производительности технологического процесса.

Основной критерий оптимизации — цикл РМ и ТП в целом — см. (7), (8).

Рекомендуется применять при отсутствии ограничений предшествования. Высокий уровень синхронизации достигается при большой номенклатуре значений трудоемкостей. Идентификация трудоемкостей на распределенных РМ производится по их значениям.

Достоинства: высокий уровень синхронизации, небольшая длительность расчета, минимизация числа РМ.

Недостатки: возможность существования различий в количестве ТО (ТПр), распределенных на первые и последние РМ.

Программы МПК-1 и МПК-2. Реализуют алгоритм, основанный на методе подобных комплектов.

Размеры EXE-модулей: МПК-1 — 61472 байт; МПК-2 — 61626 байт.

МПК-1.

Исходные данные для выполнения распределения: количество РМ; максимальное количество операций, выполняемых на одном РМ; трудоемкость каждой операции, с.

Результат расчета выдается в виде матрицы $N \times K$, где N — количество РМ; K — количество операций, выполняемых на одном РМ. Элементами матрицы $T(N, K)$ являются соответствующие трудоемкости.

С учетом распределения определяются параметры ТП, указанные в предыдущей программе.

Основной критерий оптимизации — такт ТП, функция (9).

Программа эффективна при отсутствии ограничений на последовательность ТО и ТПр (например, установка навесных компонентов в узлах печатной платы, где наблюдается большое количество однотипных переходов и небольшое число ограничений на последовательность их выполнения).

Рекомендуется применять при однотипных ТО (ТПр) и отсутствии ограничений предшествования.

Достоинства: простота использования, высокая скорость расчета, высокий уровень синхронизации.

Недостатки: на каждом РМ одинаковое количество ТО (ТПр), это ограничивает возможность перенесения ТО (ТПр) одного РМ на другое, что влияет на качество распределения.

МПК-2. Программа аналогична предыдущей, однако в ней устранен недостаток, связанный с одинаковым количеством ТО (ТПр) на одном РМ. Вместо максимального количества операций, выполняемых на одном РМ, в качестве исходных данных вводится общее количество ТО (ТПр). Число ТО (ТПр), выполняемых на одном РМ, определяется исходя из заданного количества рабочих мест. При формировании матрицы в пустых ячейках проставляются нулевые значения трудоемкостей (фиктивные). Такой подход позволяет в ряде случаев повысить эффективность распределения.

Программа КТО-1. Реализует метод, учитывающий ограничения на последовательность ТО (ТПр) и специализацию РМ.

Размер EXE-модуля — 68168 байт. Количество операторов — 520.

Программа состоит из двух частей. Первая — формирование последовательности трудоемкостей. Здесь на основе графа ограничений, где вершинам поставлены в соответствие ТО (ТПр), а дуги символизируют ограничения, связанные с конструкторскими и технологическими факторами, формируется прямая последовательность ТО (ТПр), учитывающая все описанные графом ограничения. Граф не должен содержать циклов и петель, поскольку это приводит к противоречиям, решать которые должен конструктор или технолог. Вторая часть — распределение ТО (ТПр) по РМ и расчет параметров конвейерной линии. Эта часть выполнена за счет отдельных элементов алгоритма, основанного на методе Сущинского — Бурикова, позволяющих разложить полученную последовательность по соответствующим РМ.

Исходные данные: количество РМ; граф ограничений на последовательность ТО (ТПр); трудоемкость каждой ТО (ТПр).

Результат расчета программа выдает в виде ряда, состоящего из N строк, где N — количество РМ. В каждой строке в соответствии с указанной последовательностью выполнения операций расположены трудоемкости соответствующего РМ. С учетом распределения программой определяются необходимые параметры ТП.

Критерии оптимизации: последовательность ТО (ТПр), цикл ТП.

Идентификация трудоемкостей на распределенных РМ производится по их номерам.

Достоинства: учет ограничений на последовательность, специализацию РМ, высокая скорость расчета, минимизация числа РМ.

Недостатки: не всегда высокий уровень синхронизации, возможность существования различий в количестве ТО (ТПр), распределенных на первые и последние РМ.

Результаты тестирования ППП

Проведена апробация ППП для ряда изделий РЭА. В частности, в качестве технологического объекта использован печатный узел модуля управления МУ-1 установки автоматической подгонки

толсто пленочных резисторов ТЕМП-30М, содержащий 127 компонентов.

Программы МПК-1(2) и СБ-1 предназначены для распределения ТО (ТПр) по РМ в отсутствие ограничений предшествования. Поэтому их экспериментальная проверка производилась для части ТП изготовления печатного узла, связанного с ручной установкой компонентов на ПП, где ограничения на последовательность сняты.

Экспериментальная проверка программы КТО-1 производилась для распределения ТО (ТПр) по РМ всего цикла изготовления печатного узла МУ-1 с использованием автоматизированного оборудования. С учетом группирования однотипных операций полный цикл изготовления печатного узла составляет 119 ТО.

Для сравнения эффективности различных программ используют следующие оценки:

- уровень рассинхронизации, который характеризует степень отличия действительной трудоемкости сборки изделия (T) от теоретической ($\sum t_s$); чем меньше δT , тем лучше синхронизирован конвейер;

- время, затраченное центральным процессором (ЦП) на решение задачи (τ_p , с);

- количество учитываемых критериев (K_r);

- степень упорядоченности технологического графа — S (чем выше этот показатель, тем более граф насыщен дугами).

$$S = E / P, \quad (15)$$

где E — общее число дуг графа;

P — максимально возможное число дуг графа с V вершинами.

$$P = V(V-1) / 2. \quad (16)$$

Сравнительные характеристики разработанных программ на примере решения задачи синхронизации при выполнении операций ручной установки компонентов (полного цикла изготовления) печатного узла МУ-1 сведены в **таблицу**.

Сравнительная характеристика программ синхронизации

Программа	δT , %	τ_p , с (для ЦП Pentium 133)	K_r	S
СБ-1	3,33	3	2	—
МПК-1 (2)	0,72	1	1	—
КТО-1	3,71	15	3	0,02

Для решения задачи распределения ТО (ТПр) установки и монтажа компонентов на печатную плату более высокие результаты по уровню рассинхронизации при одной номенклатуре трудоемкостей и одинаковом количестве РМ показала программа МПК-1(2) — 0,72% (СБ-1 — 3,33%). Отличие связано с тем, что алгоритм программы МПК-1(2) позволил *при текущих исходных данных* осуществить распределение с меньшим тактом (37, против 38 — для СБ-1). Это стало возможно, поскольку для данного метода такт не является фиксированным.

Уровень рассинхронизации для программы КТО-1, учитывая ограничения предшествования и специализацию РМ, составил 3,71%. Этот показатель попадает в рекомендуемый для решения практических задач диапазон (2–5%).

Внедрение разработанного пакета прикладных программ позволяет снизить длительность процесса проектирования и оптимально организовать процесс производства.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Буриков А. Д., Сущинский И. М. Эвристический метод синхронизации конвейерных линий // Труды МИЭМ. — 1975. — Вып. 16, ч. II. — С. 14–18.

2. Миускова Р. П. Оптимизация трудовых процессов с использованием математических методов и ЭВМ. — М.: Экономика, 1985.

3. Граб Г. Г., Ткач М. П., Тыныныка А. Н. Оптимизация работы конвейерных линий при автоматизированном проектировании технологических процессов сборки РЭА // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Технология производства и оборудование. — 1982. — Вып. 1. — С. 101.

4. Ткач М. П., Тыныныка А. Н. Отчет № 494-26 «Разработка и внедрение алгоритмов проектирования технологических процессов сборки узлов». — Одесса: ОПИ, 1980.

5. Фролов В. Н., Львович Я. Е., Меткин Н. П. Автоматизированное проектирование технологических процессов и систем производства РЭС. — М.: Высшая школа, 1991.

НАУЧНО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЦЕНТРЫ СНГ

ГНПП «КБТЭМ-СО»

Республика Беларусь, 220763, г. Минск, пр. Партизанский, 2



УСТАНОВКА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ НАСТРОЙКИ КВАРЦЕВЫХ РЕЗОНАТОРОВ ЭМ-6310

В генераторах широкого применения и в других электронных изделиях широкое распространение получили кварцевые камертонные резонаторы — кристаллические аналоги металлических камертонов. На лепестках кварцевого резонатора имеются площадки с золотой металлизацией, выполняющие роль эффективной массы вибратора, вовлекаемой вместе с ним в процесс колебаний. При уменьшении эффективной массы частота кварцевого резонатора увеличивается. Этот принцип и положен в основу установок подгонки кварцевых резонаторов.

Разработанная нами установка предназначена для автоматической настройки частоты кварцевых резонаторов, расположенных на пластине. Работа установки заключается в последовательном контактировании зондов с контактными площадками кварцевых резонаторов, расположенных на пластине, измерении частоты собственных колебаний и подгонке частоты кварцевых резонаторов путем удаления слоя металлизации с поверхности с помощью сфокусированного лазерного излучения.

Возбуждение и измерение частоты кварцевых резонаторов осуществляется с помощью генератора и измерителя, входящих в состав установки и имеющих диапазоны частоты 30...33 и 140...160 кГц.

Твердотельный лазер импульсного действия и оптическое устройство обеспечивают автоматическое изменение диаметра луча лазера в пределах 20...40 мкм.

Перемещение и фиксация объекта подгонки осуществляются при помощи четырехкоординатного стола. Привод по координатам X—Y реализован на базе линейного шагового двигателя на воздушной подушке. Система обратной связи по ускорению

обеспечивает высокую динамику позиционирования, а отсутствие механического трения — простоту обслуживания и долговечность. Привод по координате Z реализован на винтовой передаче и обладает большой жесткостью.

Установка управляется системой, построенной на базе промышленного компьютера. Информация о текущем состоянии установки и результатах диагностики составных частей отображается на экране видеомонитора. Режимы подгонки, размеры объектов подгонки, а также траектория подгонки задаются с помощью пульта оператора.

Установка позволяет производить:

- ♦ картографирование результатов настройки кварцевых резонаторов по группам годности;
- ♦ вывод фрагмента изображения пластины кварцевых резонаторов на видеомонитор;
- ♦ вывод результатов контроля пластин на видеомонитор или периферийное устройство;
- ♦ маркирование бракованных резонаторов краской.

На установке можно обрабатывать кварцевые резонаторы, расположенные на пластине размерами до 60×60 мм. Производительность установки при среднем отклонении от номинальной частоты кварцевого резонатора 1 кГц составляет 2000 элементов/ч. Погрешность подгонки кварцевых резонаторов ±5 Гц.

Конструкция установки позволяет использовать ее в качестве базовой модели для разработок (с уровнем унификации до 70%) таких установок, как установка настройки резисторов и других элементов, расположенных на пластине.

М. К. САСИН, Ю. А. БУХВАЛОВ