



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 02811978.9

[43] 公开日 2004 年 8 月 18 日

[11] 公开号 CN 1522419A

[22] 申请日 2002. 6. 17 [21] 申请号 02811978.9

[30] 优先权

[32] 2001. 6. 15 [33] US [31] 60/298,104

[86] 国际申请 PCT/CA2002/000891 2002. 6. 17

[87] 国际公布 WO2002/103582 英 2002. 12. 27

[85] 进入国家阶段日期 2003. 12. 15

[71] 申请人 模拟设计自动化有限公司

地址 加拿大安大略

[72] 发明人 特伦特·洛恩·麦康纳基
格伦·赫茨

[74] 专利代理机构 隆天国际知识产权代理有限公司

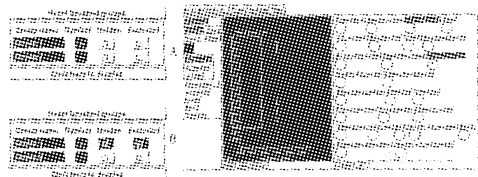
代理人 陈 晨 郭凤麟

权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 34 页
按照条约第 19 条的修改 2 页

[54] 发明名称 通过交互式图示法选择设计方案的方法和系统 量的候选设计方案中。

[57] 摘要

一种通过交互式图示法选择电路设计方案的方法和系统。本发明特别适用于获悉模拟电路的性能和功效,和用于从多目标最优化衍生的设计方案候选设计方案数据集中选择一个优选的设计。该方法包括从多目标最优化提供一个多维数据集或相反。然后将多维数据集显示为多个图表。这些图表可以是一维或多维,并可包括平行坐标图。通过修改这些图表的至少一个,用户可交互地选择一个估值数据集用于进一步估值或测试。该修改可采用交互滤除的形式从而以想要的方式减小数据集。典型地,利用可视选择、刷笔等通过图形界面完成减小数据集,也可包括在多维数据集中定义或创建一个或多个变量的约束函数。这种约束可包括线性和非线性约束。该修改和选择过程可根据需要加以重复以进一步将数据集限制在易管理数



1. 一种通过多维数据集的交互式图示法选择电路设计方案的方法，包括：
 - 提供一个多维数据集；
 - 5 将多维数据集显示为多个图表；以及
 - 通过与所述显示的多维数据集交互作用，交互地修改所述多个图表中的至少一个，以从该多维数据集中选择一个估值数据集。
2. 按照权利要求 1 的方法，其中，显示多个图表包括显示一维图表。
3. 按照权利要求 1 的方法，其中，显示多个图表包括显示多维图表。
- 10 4. 按照权利要求 3 的方法，其中，显示多维图表包括显示二维图表。
5. 按照权利要求 3 的方法，其中，显示多维图表包括显示三维图表。
6. 按照权利要求 3 的方法，其中，显示多维图表包括显示旋转图表。
7. 按照权利要求 3 的方法，其中，显示多维图表包括显示平行坐标图表。
- 15 8. 按照权利要求 1 的方法，其中，交互地修改所述多个图表中的至少一个包括对所述多个图表中的至少一个实行滤除。
9. 按照权利要求 8 的方法，其中，实行滤除包括刷多个图表中的至少一个。
10. 按照权利要求 8 的方法，其中，实行滤除包括定义所述多维数据集
- 20 的变量的约束函数。
11. 按照权利要求 10 的方法，其中，该约束函数是非线性的。
12. 按照权利要求 1 的方法，其中，交互地修改所述多个图表中的至少一个包括创建变量的映射。
13. 按照权利要求 1 的方法，其中，交互地修改所述多个图表中的至少
- 25 一个包括创建用于减少维数的映射。
14. 按照权利要求 1 的方法，其中，交互地修改所述多个图表中的至少一个包括创建变量的加权和。
15. 按照权利要求 1 的方法，进一步包括：
 - 将所述估值数据集显示为进一步的估值图表；以及
 - 30 交互地修改该显示的进一步的估值图表，以从该估值数据集中选择一个

精炼的估值数据集。

16. 按照权利要求 1 的方法，其中，该多维数据集包括从多目标最优化衍生的电路度量标准。

17. 按照权利要求 1 的方法，其中，该电路度量标准包括模拟电路度量
5 标准。

18. 一种通过多维数据集的交互式图示法选择电路设计方案的系统，包括：

用于存储多维数据集的数据库；

一个显示器，可操作性地连接到该数据库，用于将该多维数据集显示为
10 多个图表；以及

用于交互地修改该多个图表中的至少一个以从该多维数据集中选择一个估值数据集的装置。

通过交互式图示法选择设计方案的方法和系统

技术领域

- 5 本发明涉及设计系统和方法学。特别地，本发明涉及一种通过交互式图示（interactive visualization）技术从许多候选设计方案中选择设计方案的方法和系统。本发明特别地应用于从通过多目标最优化衍生的候选设计方案中选择模拟、数字和混合信号电路的设计方案。

10 背景技术

- 当今的电子芯片设计者要求开发用于信息可视化和知识发现的有效方法，其使得电子设计自动化（EDA）软件的用户与设计数据库更直接和更有效地进行交互，从而理解他们的设计方案的性能特征。当使用多目标优化技术提供大量的候选设计方案时，这一点就特别地重要。为每个候选设计方案确定的电路度量标准提供了一个信息丰富的多维数据集，但是因其规模和复杂度，设计者难以有效地拣选，以找到最想要的设计方案。
- 15 案确定的电路度量标准提供了一个信息丰富的多维数据集，但是因其规模和复杂度，设计者难以有效地拣选，以找到最想要的设计方案。

- 众所周知的是利用可视的感知系统观察多维或者多变量的数据集。目前存在有大量用于图示这种数据集的方法，比如多视图、切尔诺夫脸谱图、星图、组平均值视图、Aiken and West's 图、John-Neyman 图、平行坐标、鱼眼显示、相关规则、基于多分辨率显示的小波变换、像素级可视化图表以及树形图。然而，还未开发出这种系统和方法的应用软件，以允许 EDA 软件用户通过使用可视界面动态查询候选设计方案的基本数据库并分离出感兴趣的设计方案。
- 20 显示、相关规则、基于多分辨率显示的小波变换、像素级可视化图表以及树形图。然而，还未开发出这种系统和方法的应用软件，以允许 EDA 软件用户通过使用可视界面动态查询候选设计方案的基本数据库并分离出感兴趣的设计方案。

- 信息可视化已成为日益受关注的研究领域。人们发现这样的可视化技术在科学、工程、管理和因特网技术的许多应用中都很有用。对于半导体工业而言，硅容量每 18 个月增长一倍，使得在单个硅芯片上可建立越来越复杂的系统。然而，在合理的时间内设计这样复杂系统的设计能力随着复杂性而减少。设计能力与生产力之间的差距似乎威胁着半导体工业的成长。理想地，信息可视化作为电子设计自动化工具的一个主要部分可用于有效地帮助弥
- 25 在科学、工程、管理和因特网技术的许多应用中都很有用。对于半导体工业而言，硅容量每 18 个月增长一倍，使得在单个硅芯片上可建立越来越复杂的系统。然而，在合理的时间内设计这样复杂系统的设计能力随着复杂性而减少。设计能力与生产力之间的差距似乎威胁着半导体工业的成长。理想地，信息可视化作为电子设计自动化工具的一个主要部分可用于有效地帮助弥

合这个差距。

因此需要提供一种用于进行交互式图示（可视化）的方法和系统，以使得可从一组多维候选设计方案中有效地选择设计方案，特别是在数字或模拟电路设计领域中。

5

发明内容

本发明的目的是消除或减轻前述设计方法和系统的至少一个缺点。

在第一方案中，提供了一种通过多维数据集的交互式图示法选择电路设计的方法。该方法包括采用多目标最优化方法提供一个多维数据集，或者其它方法。然后将该多维数据集显示为多个图表。这些图表可以是一维或者多维，且可包括平行坐标图。通过修改至少一个图表，用户可交互地选择一个估值数据集用于进一步的估值或测试。该修改可采取交互滤除的方式从而以想要的方式来减小数据集。典型地，可利用可视选择、画笔等通过图形界面完成数据集的减小。也可包括在多维数据集中定义或创建一个或多个变量的约束函数。这种约束可以包括线性和非线性约束。该修改和选择过程可根据需要重复进行，以进一步将数据集限定在易管理数量的候选设计方案中。同时还公开了一种用于实现本发明的方法的系统。

通过以下结合附图对本发明的具体实施例的详细描述，本发明的其他方案和特征对于本领域的普通技术人员将会更明显。

20

附图说明

下面将通过实施例并参考附图来说明本发明的实施例，其中：

图 1 示出了根据本发明的电路数据的平行坐标图；

图 2 示出了一个平行坐标图，其显示了根据本发明在度量标准和设计变量之间的可视化关系；

图 3 示出了一个平行坐标图，其显示了根据本发明在度量标准和随机变量之间的可视化关系；

图 4 示出了一个平行坐标图，其显示了根据本发明在度量标准和环境变量之间的可视化关系；

图 5 示出了一个平行坐标图，其显示了根据本发明在度量标准、随机变

量、设计变量和环境变量之间的可视化关系；

图 6 示出了一个平行坐标图，其显示了根据本发明在度量标准、随机变量、设计变量和环境变量之间的另一可视化关系；

图 7 示出了前面电路数据的坐标 9 和 10 的图表；

5 图 8 至 20 示出了根据本发明的可视化方法的第一例；

图 22 至 35 示出了根据本发明的可视化方法的第二例。

具体实施方式

一般地，本发明提供一种通过交互式图示法用于设计方案选择的方法和系统。本发明特别地适合用于获悉模拟电路的性能和功效，以及用于从多目标最优化衍生的候选设计方案数据集中选择一个优选的设计。在一个实施例中，基于平行坐标系统的可视化处理使得用户以有效的方式观测电路度量标准和多维参数的折衷分析过程。还给出了利用该可视化系统研究电路性能和设计质量的几种方法，特别是由模拟设计合成衍生的设计。

15 本发明的系统通常包括一个存储多维数据集的数据库，例如一组用于许多潜在的电路设计方案的预定电路变量。执行一种知名的开放资源程序 ggobi 之类的的数据可视化应用程序的通用计算机使得多维数据集中每个设计方案的设计变量在常规的计算机监视器或显示器上显示为图表。用户和显示该图表的图形用户界面之间的交互作用使得数据集可在多种格式下被观察并

20 并被限于某些想要的设计方案。用户交互可用常规的用户输入设备比如鼠标、键盘等和通过数据可视化软件比如刷笔、字形选择、颜色处理等提供的工具来提供，在 <http://www.ggobi.org> 上的 ggobi 手册中有更完整的描述。

本发明的实施例可用任何常规的计算机编程语言实现。例如，优选实施例可用过程化编程语言（比如“C”）或面向对象语言（比如 C++）实现。

25 本发明的可选实施例可实现为预编程的硬件元件、其他相关部件或硬件和软件

实施例可实现为一种用于随计算机系统一起使用的计算机程序产品。这种实现可包括一系列计算机指令，它们要么固定在有形的介质上，比如计算机可读介质（比如软盘、CD-ROM、ROM、或固定磁盘），要么经过调制解调器或其他接口设备比如通过介质连接到网络的通信适配器传输到计算机

30

系统。

所述介质可以是有形介质（比如光或电通信线路）或以无线技术实现的介质（比如微波、红外线或其他传输技术）。所述一系列计算机指令实现此处描述的全部或部分功能。本领域的技术人员应当意识到，这样的计算机指令可以用各种编程语言编写，以便与许多计算机体系结构或操作系统一起使用。而且，这些指令可存储在任何存储器设备中，比如半导体、磁、光或其他存储器设备，并且可利用任何通信技术传输，比如光、红外线、微波或其他传输技术。

可以预料到这样的计算机程序产品作为一种带有书面或电子文档的可移动介质（比如压缩的包装软件）发布，通过计算机系统（比如在系统 ROM 或固定磁盘上）预载，或由服务器通过网络（比如因特网或万维网）发布。当然，本发明的一些实施例可作为软件（比如计算机程序产品）和硬件的组合实现。本发明的其他实施例可完全作为硬件或完全作为软件（比如计算机程序产品）实现。

本发明的、通过多维数据集的交互式图示法进行设计方案选择的方法一般包括通过多目标最优化方法提供一个多维数据集，或者其它方法。然后该多维数据集显示为多个图表。这些图表可以是一维或多维，并可包括平行坐标图。通过修改至少一个图表，用户可交互地选择一个估值数据集用于进一步的估值或测试。该修改可采取交互滤除的方式从而以想要的方式减小数据集。典型地，可以利用可视选择，刷笔等通过图形界面实现数据集的减小。也可包括在多维数据集中定义或创建一个或多个变量的约束函数。这种约束可以是线性或非线性的约束。修改和选择过程可以根据需要加以重复以进一步将数据集限制在易管理的数量的候选设计方案中。

一般地，应当注意到平行坐标图对于图示电路数据集非常有效，因为它提供了很小的计算复杂度 $O(N)$ ，其中 N 是相同数量的平行轴表示的维（变量）数，另外，还因为它对于任何 N 都有效，其中变量被统一处理，并且显示的对象可在射影变换下识别。这就允许用基于平行坐标的图示方法来表示并且可视地探测多维折衷的模拟电路数据，以帮助设计者在时限内对复杂的设计过程作出更好的决策。

平行坐标显示是七十年代领先的技术，已应用于不同的多维问题。在该

方法中，每个维对应于一个轴，N 个轴被设置为具有统一间隔的垂直线。N 维空间中的数据元素将自己表示为连接的点的集合，每个轴上一个点。共线或共面的点在图像中创建出易理解的结构。平行坐标技术的主要局限在于大的数据集会造成解译的困难；由于每个点产生一条直线，很多点会造成快速增生的簇。相邻维之间的关系也比非相邻维之间的关系容易理解。可被图示的维数相当大，但是受限于屏幕的水平分辨率，轴相互越接近就越难以理解结构或簇。图 1 示出了 561 个矢量的模拟电路数据集的典型平行坐标显示，其包括沿水平线编排的 21 个维（变量），而对应值显示在垂直线上。电路指数、制造指数和工作点指数分别被编排在第一、第二和第三坐标中；度量标准被显示在第四至第十五坐标中；随机变量被显示在第十六至第十七坐标中；而设计变量被显示在第十八至第二十一坐标中。通过同时使用颜色和动态刷笔和字形，用户可容易地与显示的信息交互，从而聚焦和跟踪特定数据项目的行为特征。在隐藏或排除一些坐标或矢量时它也是有用的，因此设计者能容易地聚焦于感兴趣的数据。下面的部分更详细地描述了关于信息可视化在研究度量标准和随机变量之间的重要关系以及测试它们的关系臆测中是怎样有用的。

基于平行坐标的视觉显示，用户可以与可视化工具交互以研究如下关系：

在度量标准和设计变量之间（见图 2）。从与该图表的交互可明显看出，如果两个最后的设计变量为高（坐标 19 和 20），只有小百分比的过冲（坐标 9）是可实现的。

在度量标准和随机变量之间（见图 3）。随机性对电路的性能有小的影响。

在度量标准和环境变量之间（工作点）。对于第五和第六坐标上的度量标准，工作点对电路的性能有大的影响（见图 4）。

在设计变量、随机变量、环境变量和度量标准之间（见图 5）。设计方案受工作点的影响要大于受制造引入噪声的影响。图 5 的坐标在图 6 中放大并绘出。在图 6 中，用户可以看到连接坐标 7 至 10 的线段并不相互交叉，由此马上可以得知在所有度量标准之间有正相关性。这些坐标中二者之间的正相关性在图 7 中显示为散布图。

信息显示作为一个整体部分只包括数据查询任务的一部分。理由是数据可视化系统应当不仅仅是绘出数据，还应该具有一些决策分析成分以从获悉数据集的交互中产生结果，识别正确的特征维度，发现隐藏的模式以及从构造的模型作出推论。作为特例，用户可检测设计数据中的趋势和模式，这将有助于答复关于设计的一些问题。当使用这种方式时，创建一个查询，以访问与表述的问题相关的记录。在数据接收之后，检查这些数据以寻求可用于答复原来问题的模式或其他有用信息。

利用显示的信息和交互特征，用户可测试如下关于不同设计变量之间关系的臆测：

10 工作点如何通过每个度量标准或全部变量来影响电路候选方案的性能。一旦不同工作条件下的电路性能被更好地理解，便可规定环境参数比如电压和温度范围，从而使电路性能令人满意。

制造环境如何通过每个度量标准或所有变量的电路候选方案的性能。这可以用来计算期望的产量并改善设计以得到更高的产量。

15 在统计测量项比如最小、最大、平均、中值和标准方差方面，对于每个或所有工作点，哪种性能是典型的。这很有用，因为它给出了电路的最小、典型和最大性能的良好标识。

在该验证任务中，用户产生关于数据的一个臆测，对该数据发出查询，并检查查询的结果，以寻求对臆测的肯定或否定。在前一情况下，程序结束；
20 在后一情况下，给出新的查询并且程序循环直到该结果数据证实了该臆测或用户判定臆测对于给出的数据无效。专业设计者会惊讶地发现他们依赖的单凭经验来预测电路性能的方法是无效的。

本发明的方法可参考如下两个模拟电路设计方案选择的例子最好地得到说明。在这些例子中提供了电路度量标准和其他变量，因为多个候选设计方案是从多目标最优化或合成技术衍生而来的。每个候选设计方案在三个工作点被仿真。在第一例中，200 个候选设计方案在三个工作点被评估，结果是 600 个数据集。在第二例中，17 个候选设计方案在 11 个随机事件和三个工作点上被评估。

实施例 1

30 实施例 1 在图 8 至 20 中示出。在图 8 中，以 CMRR 对开路增益或其他

任意变量的二维图表的形式显示了 600 个数据集。在图 9 中，用户将图表上的一个轴（另一轴是任意的）作为“工作点”，以观察三个工作点。在该例中，用户想基于一个工作点进行可视化，于是通过运用刷子工具将另两点的字形改变为“x”来首先选择另两个工作点的数据点，如图 10 所示。刷子工具允许用户在特定数据点上“刷”并且通过与如图 11A 和 11B 所示的对话框或者通过其他常规方法比如下拉菜单等的交互作用来改变它们的显示特性。在该例中，用户将选定的数据点分配给组 1，并将它们从视图中排除，从而自动的缩放就不考虑它们。其结果是显示 200 个数组点，如图 11C 所示。

接着，用户将显示的图表的 X 轴从工作点改变到可变随机事件，如图 12 所示（从显示的右端列出的变量中选择感兴趣的轴）。一个随机事件是从对制造电路中的随机变量建模的分布中提取的蒙特卡罗 (Monte Carlo) 抽样。用户现在可以看到在该特定数据集中仅有一个随机事件，从而在该特定的设计选择中不再考虑随机事件。

用户现在转向更具体的设计标准。例如，用户只想要开路增益大于或等于 40dB 的候选设计方案，于是将开路增益作为一个轴，首先选择如图 13 所示开路增益小于 40dB 的所有点。然后如图 11 所示，用户隐藏并排除新选择的数据点，以得到图 14 中显示的图表。

当用户探测所选数据点之间的关系时，会获得关于该数据知识。例如，该用户会看到通常在波动速度和稳定时间之间有一个折衷，如图 15 所示。然后用户决定滤除过量的波动速度的值和过量的稳定时间的值，形成图 16 的显示图。

接着，用户要找到波动速度、稳定时间和 CMRR 之间的折衷值，于是选择三维交互旋转视图，并交互地旋转数据，如图 17A-17C 所示。当 CMRR 成分被隐藏时，用户可以看到波动速度和稳定时间之间的已经熟悉的折衷。但是如果旋转该视图，他就会看到全部三个变量之间存在折衷。用户可以看到：如果移走一些具有小 CMRR 值的点，就会相当大地影响波动速度和稳定时间性能，于是，这时他就判定不基于 CMRR 进行选择。

设计者接着考虑基于过冲百分比进行滤除。他会看到当过冲百分比小时，波动速度和稳定时间仍然不错，因而移走所有高百分比过冲的数据，留下 71 个选定的数据点。

设计者接着使用一维点图 (dotplot) 研究面积, 如图 18A 所示。他决定通过先选择数据然后将其隐藏来移走所有较大的面积, 结果如图 18B 所示。

在以许多视图和许多不同变量浏览数据之后, 用户确定最后的选择应当基于 CL 带宽, 即具有 CL 带宽最佳值的设计。通过显示 CL 带宽的一维图表, 他首先选择待隐藏的数据, 然后将其隐藏。这样形成单个数据点, 如图 19A-19B 所示。最终的数据点具有对应于特定设计的标记, 从而可以恢复感兴趣的设计, 如图 19C 所示。

实施例 2

第二实施例使用平行坐标图表, 并示出了用户如何分析随机变化在制造中的影响, 以及不同环境工作条件的影响。

在图 21A-21C 中, 将会得知该数据中进行了什么抽样。在图 21A 中, x-y 图示出了 17 个不同的候选设计方案, 每个带有 11 个不同的随机事件。在图 21B 中, 用户看到对于每个设计候选方案有 3 个工作点。在图 21C 中, 用户能够以候选 ID 对工作点对随机事件的三维图表将信息的列举完全可视化。

接着, 用户在一些一维图 (这些图同时示出了密度) 中循环以查看用户基于性能测量项会移走什么电路。用户决定移走具有很小单位增益带宽的所有电路, 如图 22A-22D 所示。然后用户观察 x-y 图, 其中一个轴是候选 ID, 另一个轴是性能测量项。用户经常看到的影响是对于每个候选有三“块”数据 (每个环境工作点对应一个块; 一个块包括所有随机变量变化)。在图 23A 中, 用户看到工作点对许多候选方案的输入偏置电流有很大的影响, 特别是与随机变量相比较而言。在图 23B 中, 用户看到工作点对 CL 带宽具有较小的重要影响; 工作点和随机变量的影响几乎相同。在图 23C 中, 用户看到工作点和随机变量对候选方案的面积具有几乎为零的影响。这正是用户期望的。在图 23D 中, 对于输入漂移电压, 用户看到环境工作点具有影响, 但随机变量却没有。当然, 不同的设计候选方案会有不同等级的强度, 如图 23E 所示。例如, 用户看到, 就输出源极电流而言, 该 x-y 图表的极左端上的候选方案丝毫不受随机和环境变化的影响。在图 23F 中, 与所有其他电路相比较, 用户看到对于特定环境条件下对于过冲百分比表现很差的候选方案。在图 23G 中, 用户移走该候选方案。

在减小的数据点集合中，用户接着检查静态电流的影响，如图 24A 所示。用户看到一个具有不很强的静态电流的候选方案，于是用户在图 24B 中移走该候选方案。参照图 25A 的图表，用户看到具有不很强的输出波动电压的两个候选方案，于是取消对它们的选定，如图 25B 所示。在图 26A-26B 中，用户看到具有不很强的输出源极电流的候选方案，于是用户移走该候选方案。在图 27A-27B 中，用户看到具有不很稳定的输入偏电流的候选方案，于是移走该候选。在图 28A-28B 中，用户选择移走具有最高输出槽路电流的两个候选方案。所有这些交互修改的结果是形成了被减少的具有四个候选设计方案的集合。

- 10 利用平行坐标图表，用户接着分析剩余四个候选方案之间的折衷。在图 29A 中，将候选方案刷成每个均具有不同的颜色或阴影和字形。所有四个候选方案显示在平行坐标图表上，如图 29B 所示。该图表使得用户能立即理解每个候选方案的所有方面的性能，以新颖的方式将随机变化的折衷和影响可视化。请注意对于一些性能测量项比如面积，在候选方案之间实质上没有区别。对于其他性能测量项则有所不同，比如输入偏置电流、输入漂移电流和输入漂移电压。用户还能很快地理解性能差异：例如用户可看到填充环的候选方案清楚地具有最高的输出槽路电流但是有较小的开路增益。
- 15

- 用户可选择将注意力集中在仅几个性能的性能测量项上，以用于更密切的分析。因为面积、CL 增益峰值、过冲百分比、相位容限、稳定时间以及 THD 对于四个候选电路几乎相同，用户从图中移走这些性能测量项，如图 29C 所示。
- 20

- 用户可通过在视图中仅“隐藏”其他电路来选择查看一个电路的性能，如图 30A-30C 所示。这使得对于一个电路一次性在所有性能测量项上将随机变量和环境条件的影响可视化更为容易。用户发现，例如该候选的开路增益很容易受不同环境工作点影响而不受随机变化影响。用户也可很快地看到输出波动电压特别地受随机变化的影响。
- 25

- 用户可以用平行坐标图一次性地在许多性能测量项上很快地和容易地比较两个电路的性能。用户在这两个设计方案之间决定，更喜欢具有较小输出源极电流和较小输出偏置电流的设计方案，因此用户不再考虑另一个设计方案。于是给用户留下三个设计候选方案，如图 31 所示。
- 30

用户也可以用更多 x-y 图表和三维图表检查随机性和不同环境工作条件的影响。用户看到，例如对于所有三个设计候选方案，开路增益很大地受环境工作条件影响，如图 32A-32C 所示。

5 在图 33A 中，用户看到开路增益在每个环境工作点上对于每个候选方案近似相同。因此用户在平行坐标图表中不检查开路增益的影响。对于输入漂移电流也是这样，于是用户从平行坐标图表中移走它，形成图 33B 和 33C 的图表。

由于工作点的影响在确定最后的设计中不再那么重要，用户从现在起将仅查看一个工作点。用户隐藏其他两个，如图 34A 和 34B 所示。在检查图表
10 35 的平行坐标图表上剩余的设计方案时，用户决定选择具有最小输出源极电流和最高 CL 带宽的设计方案，尽管用户知道将不会有这样小的输入偏置电流。这样用户基于与不同图表的交互很快且有效率地选出最后的设计方案。

在上面的部分中已经给出了用于模拟电路设计方案的可视化系统和方法，但应该清楚该方法可用于分析任何设计领域中的多维数据集。

15 本发明的上述实施例仅作为例子。对于本领域的技术人员而言，不背离由所附权利要求唯一定义的本发明的范围，可以对特定的实施例进行变更、改型和变化。

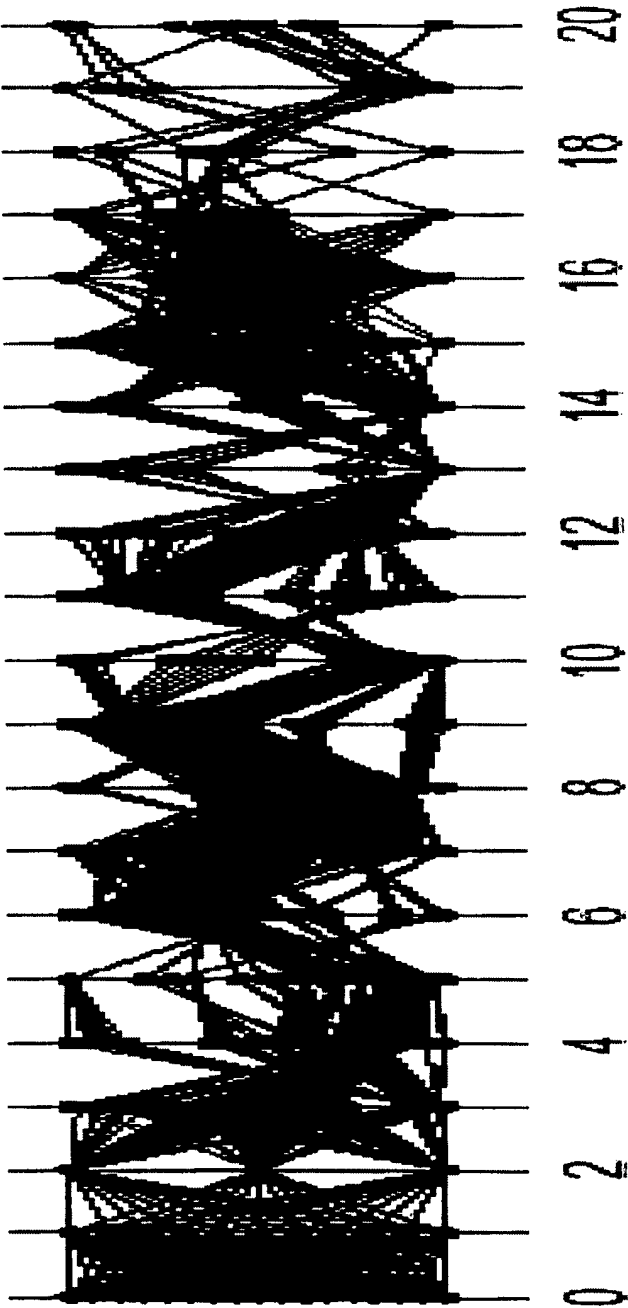


图 1

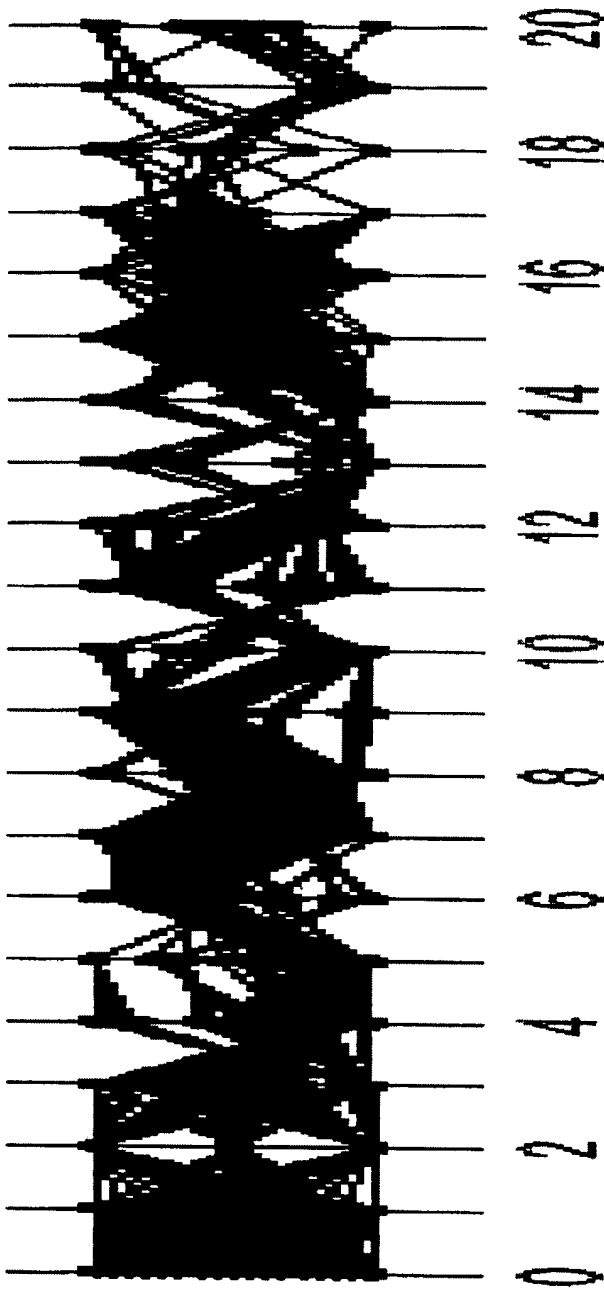


图 2

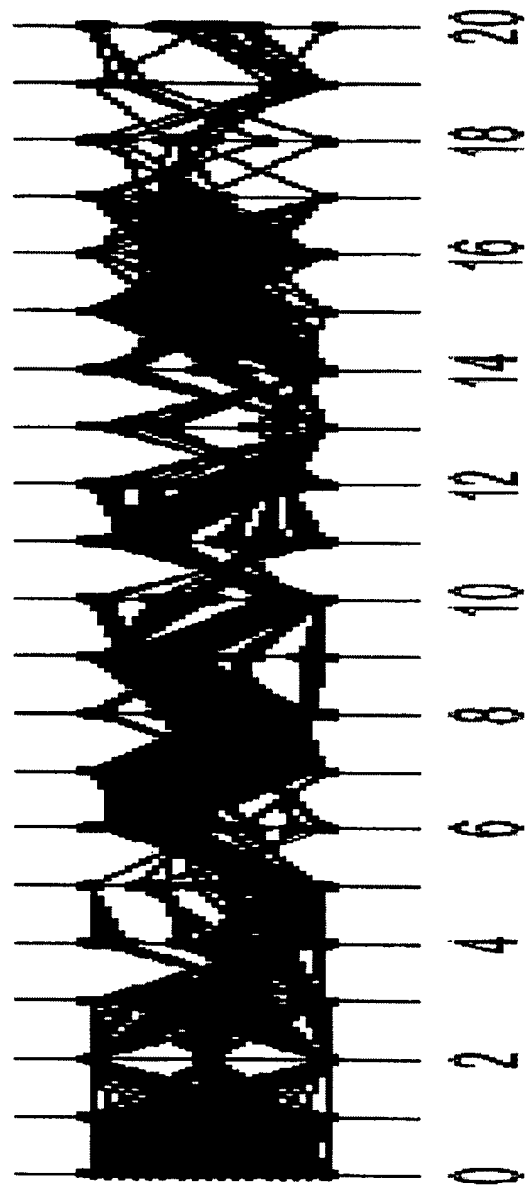


图 3

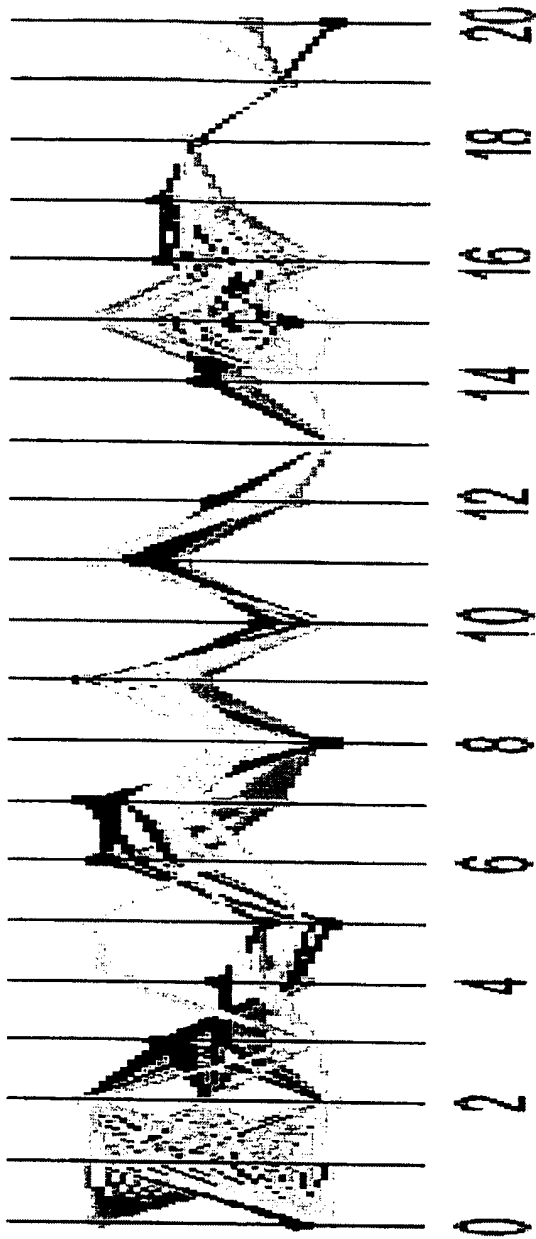


图 4

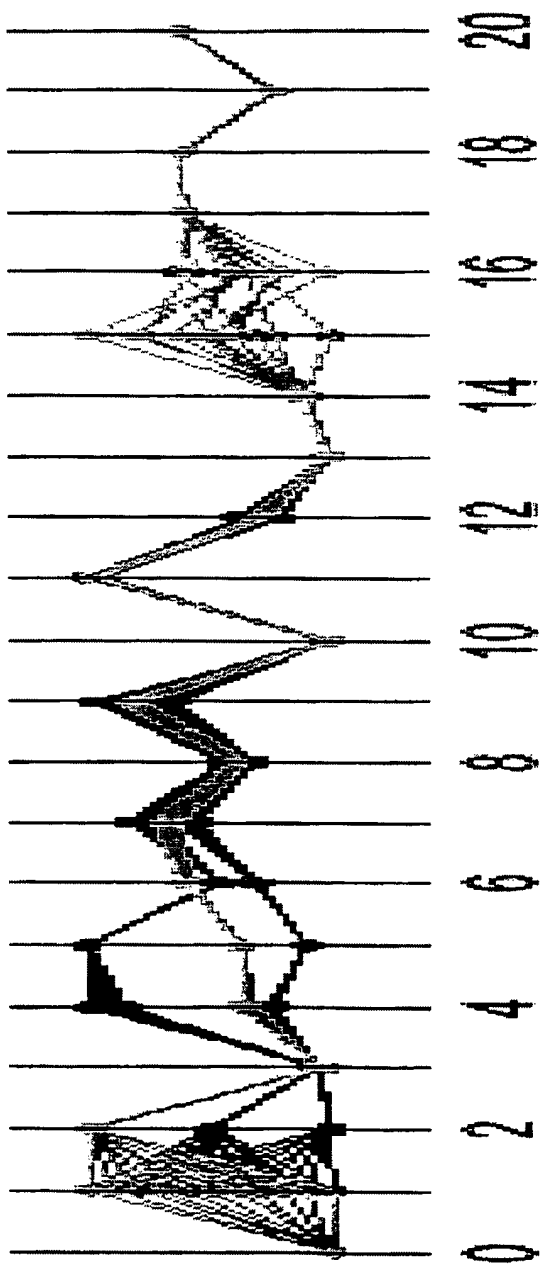


图 5

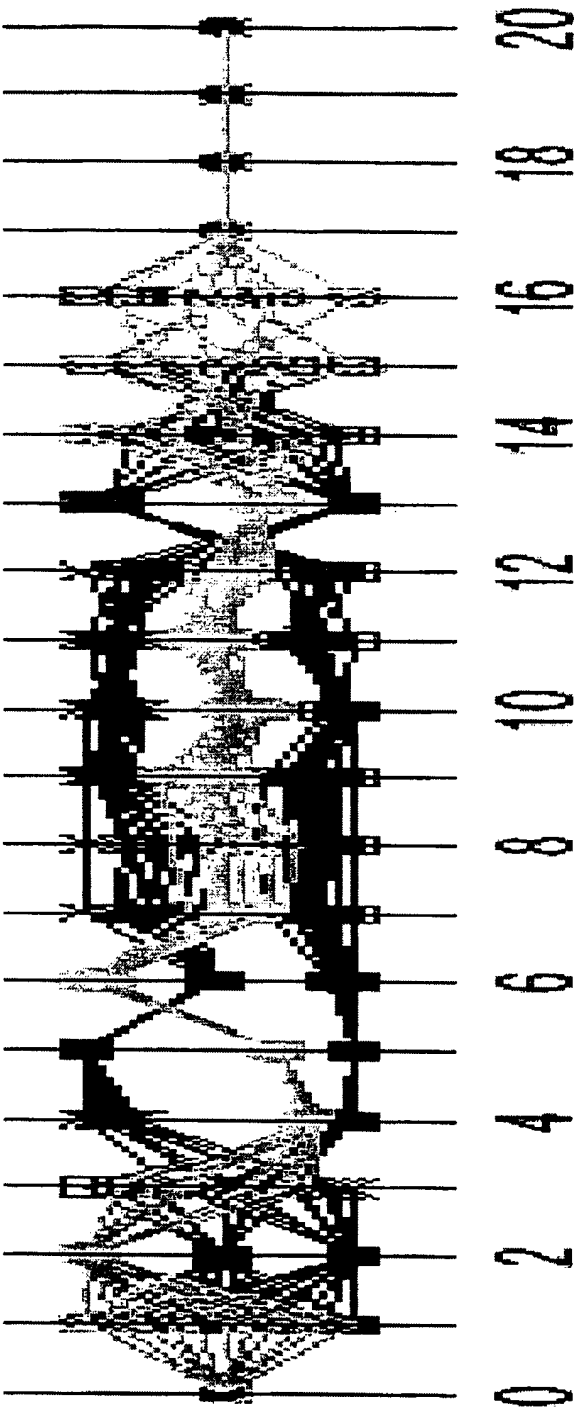


图 6

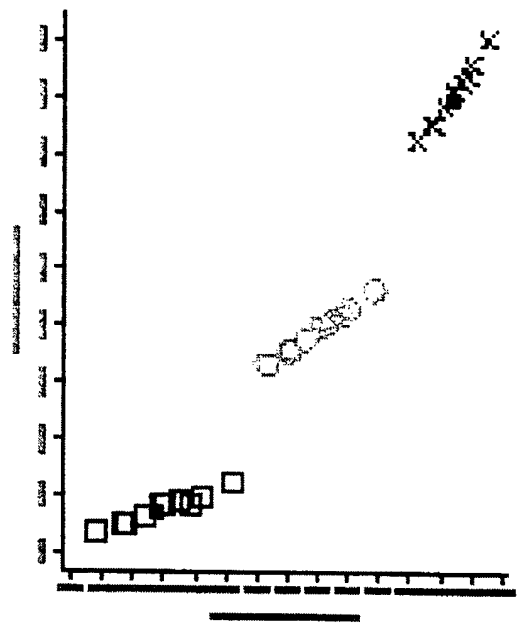


图 7

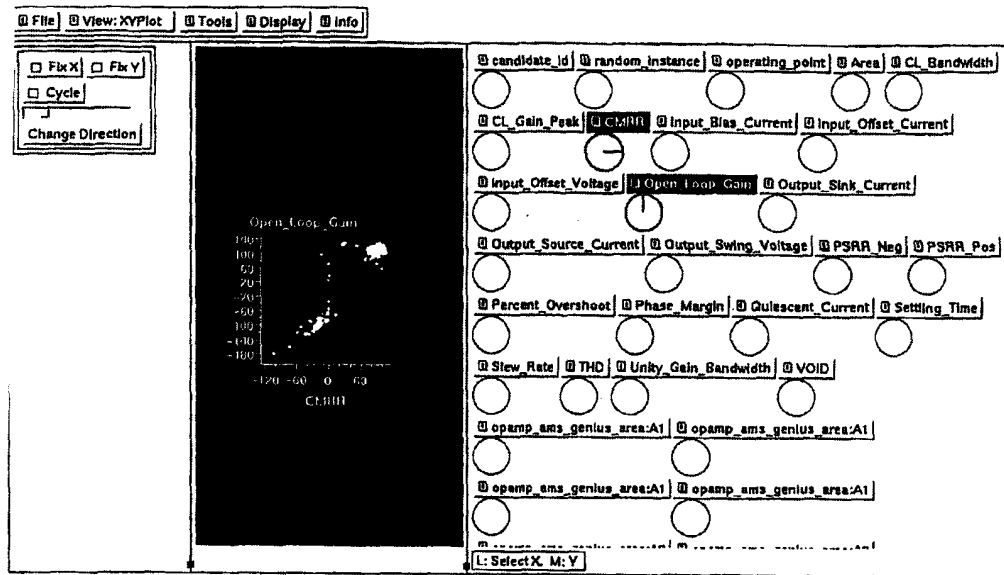


图 8

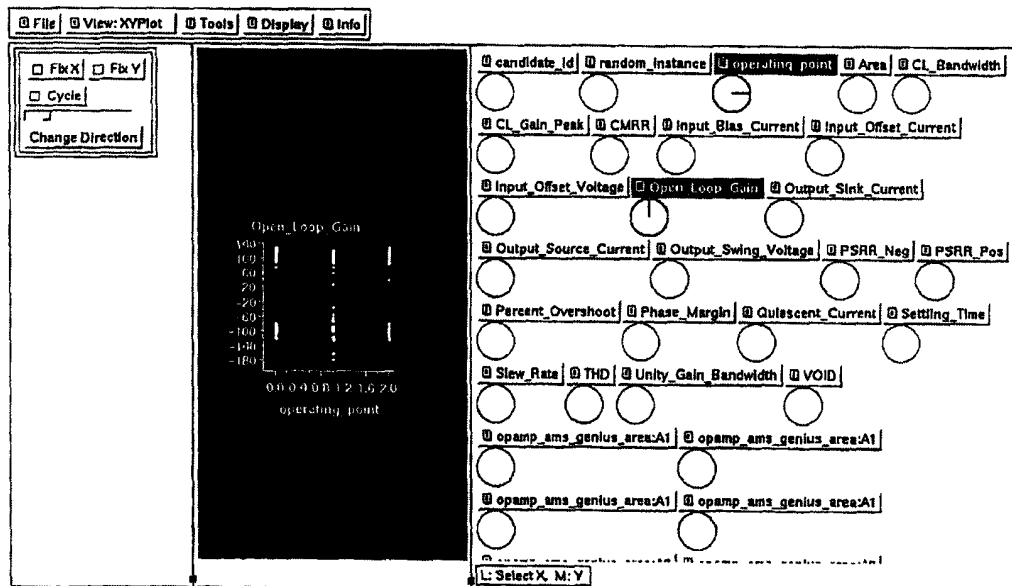


图 9

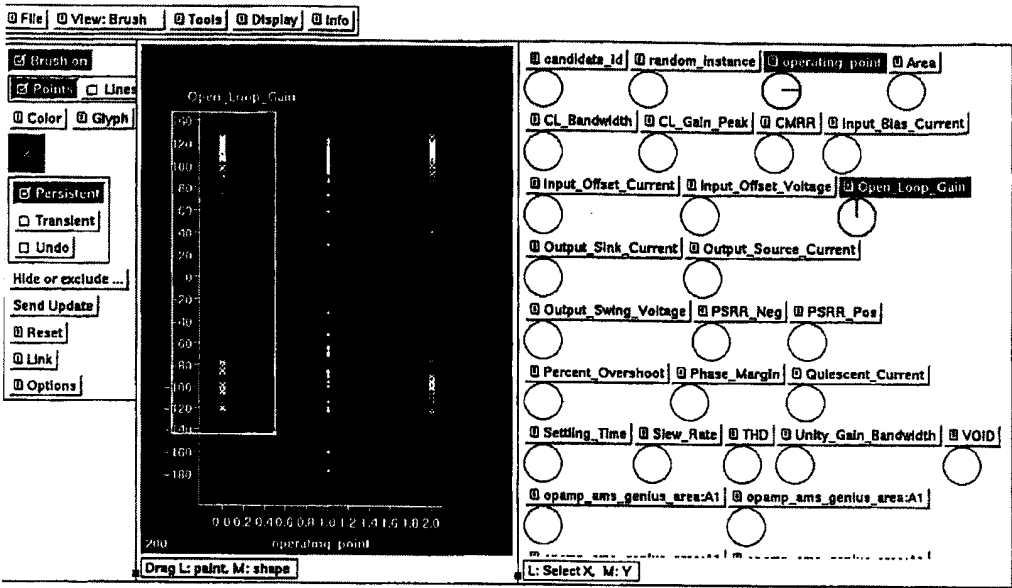


图 10

Reset brushed groups			
Group name	Symbol	Hidden	Excluded
Group 1	×	☐	☐
Group 2	.	☐	☐
Click here to dismiss			

图 11A

Reset brushed groups			
Group name	Symbol	Hidden	Excluded
Group 1	×	☒	☒
Group 2	.	☐	☐
Click here to dismiss			

图 11B

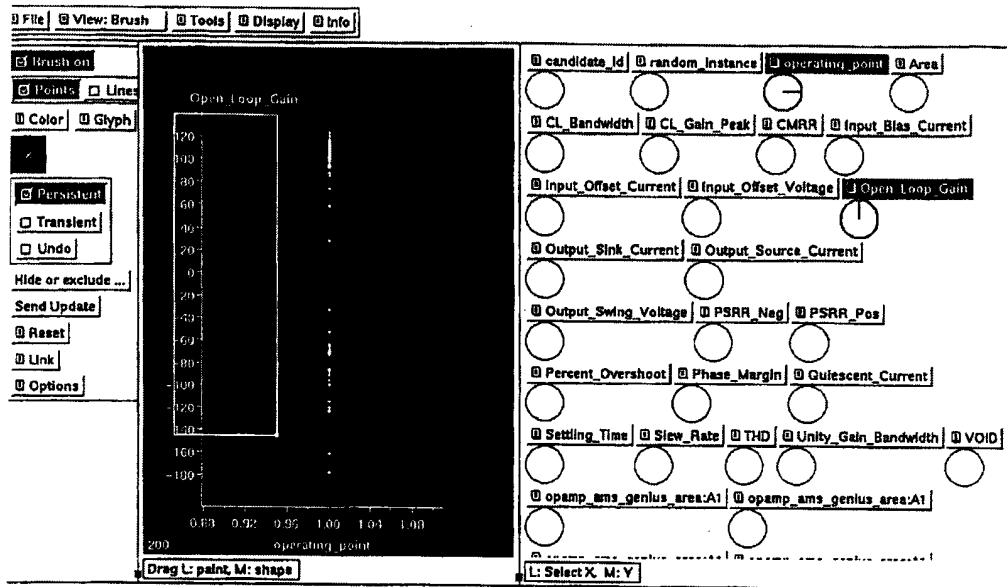


图 11C

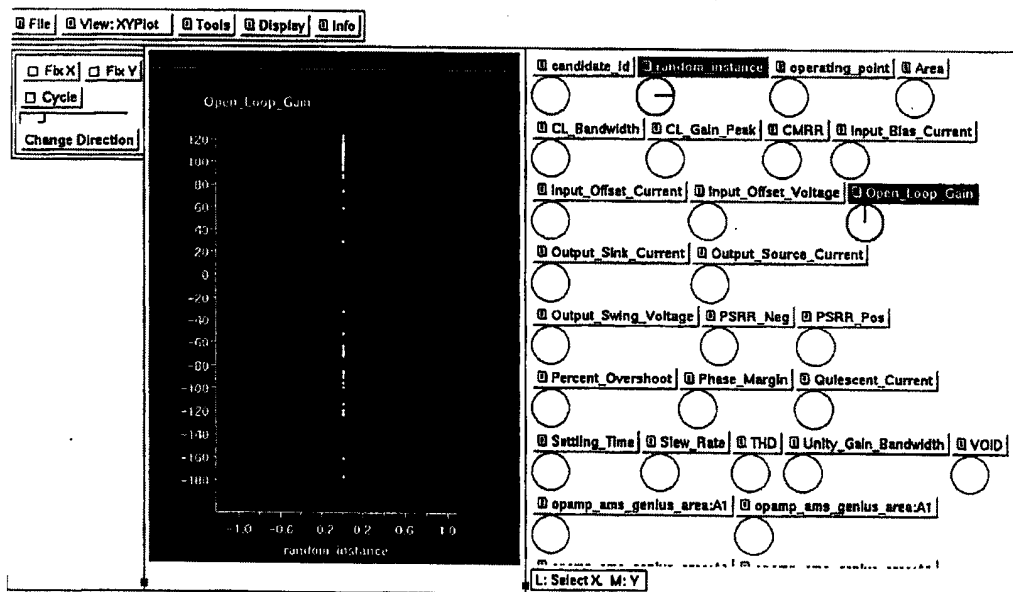


图 12

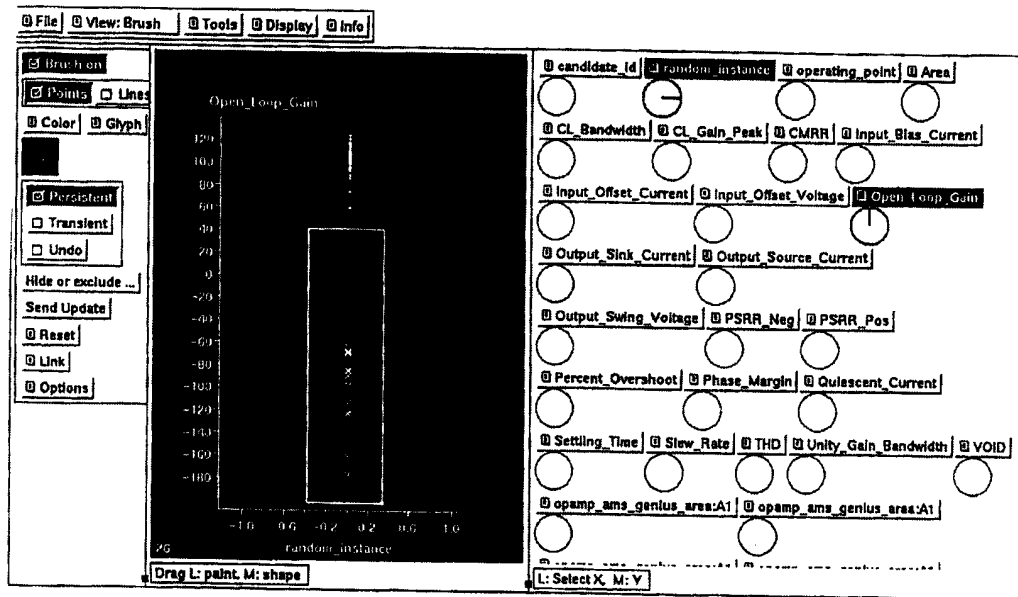


图 13

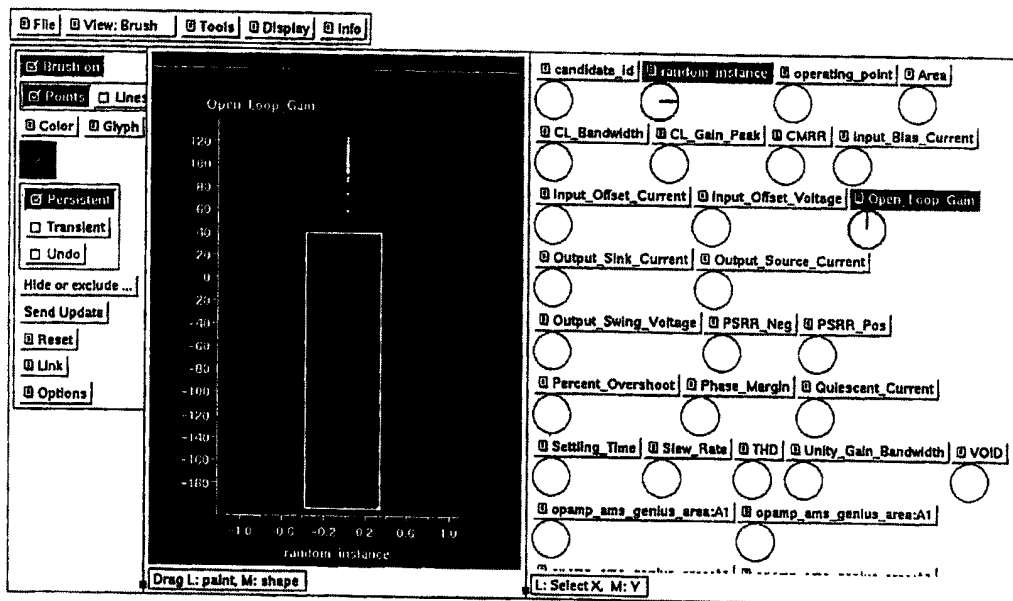


图 14

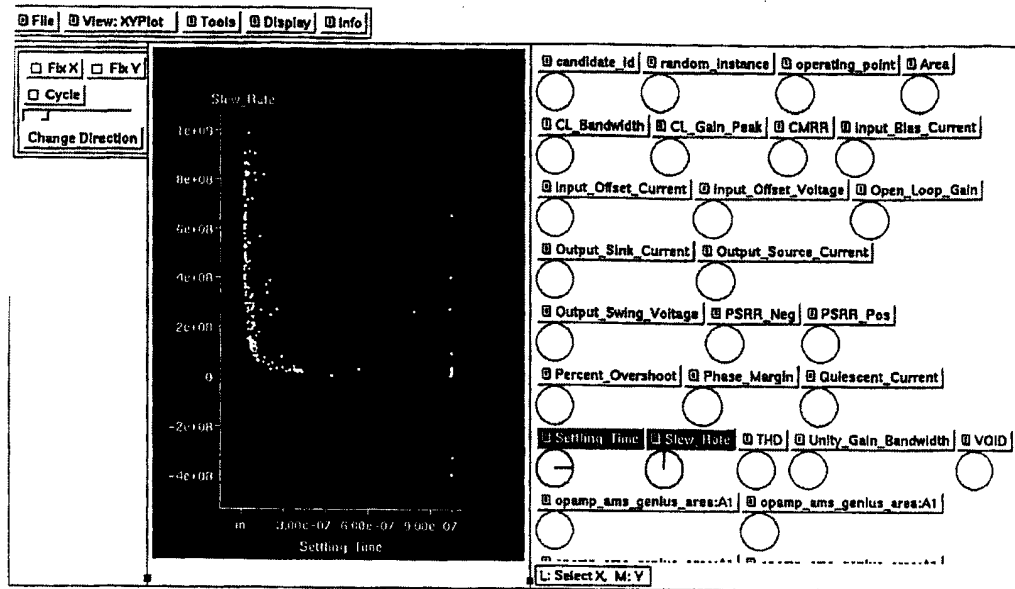


图 15

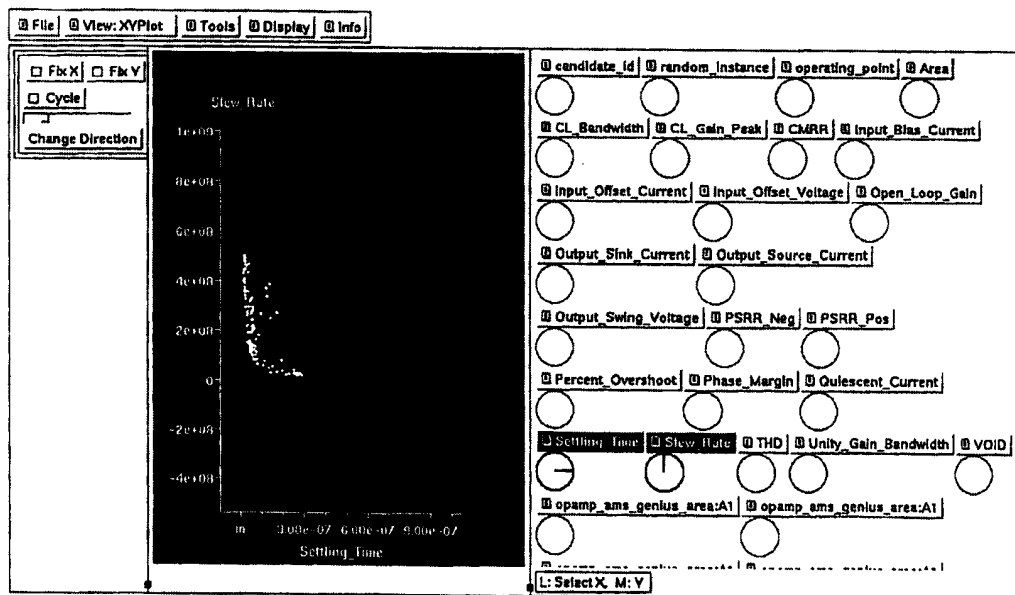


图 16

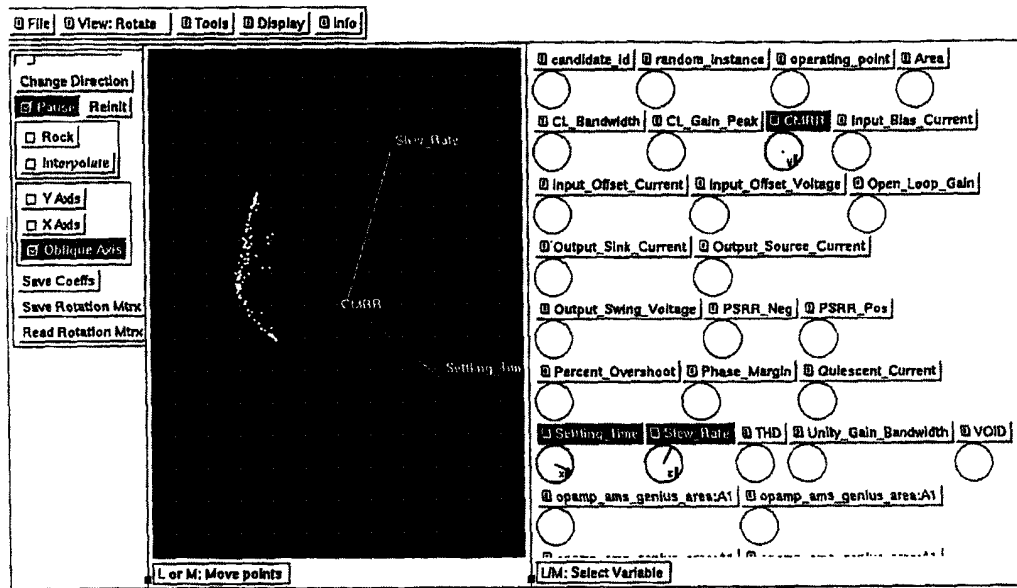


图 17A

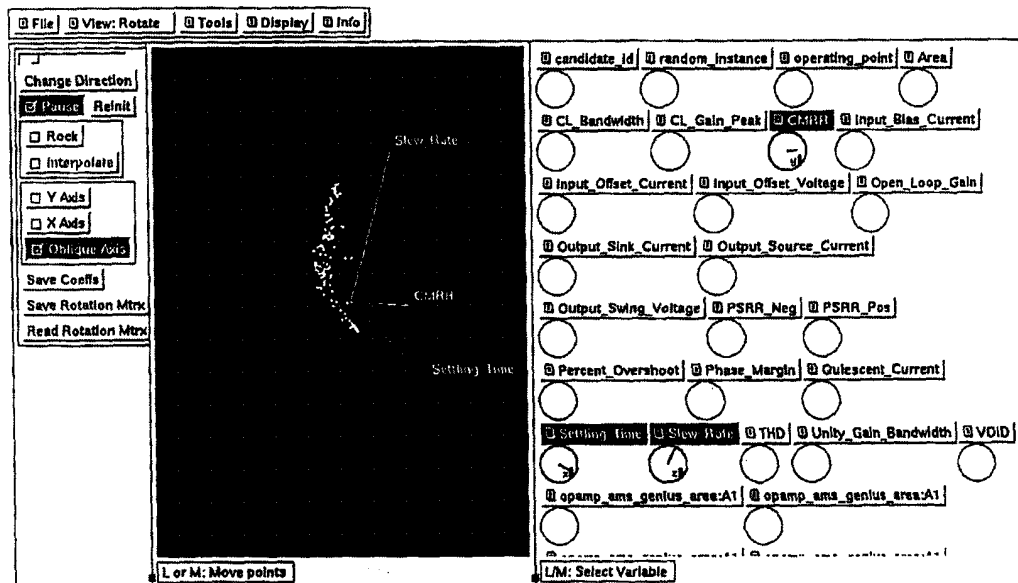


图 17B

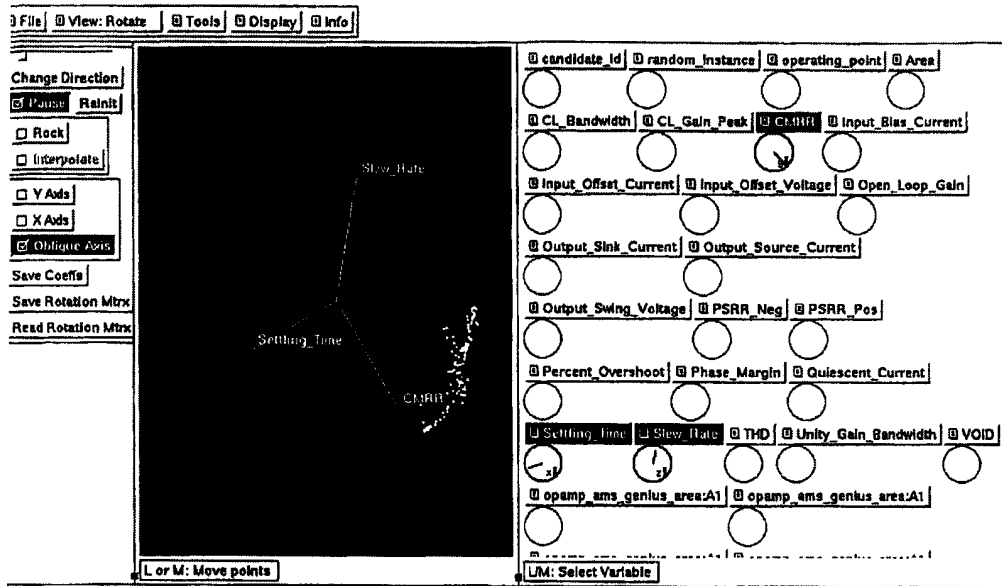


图 17C

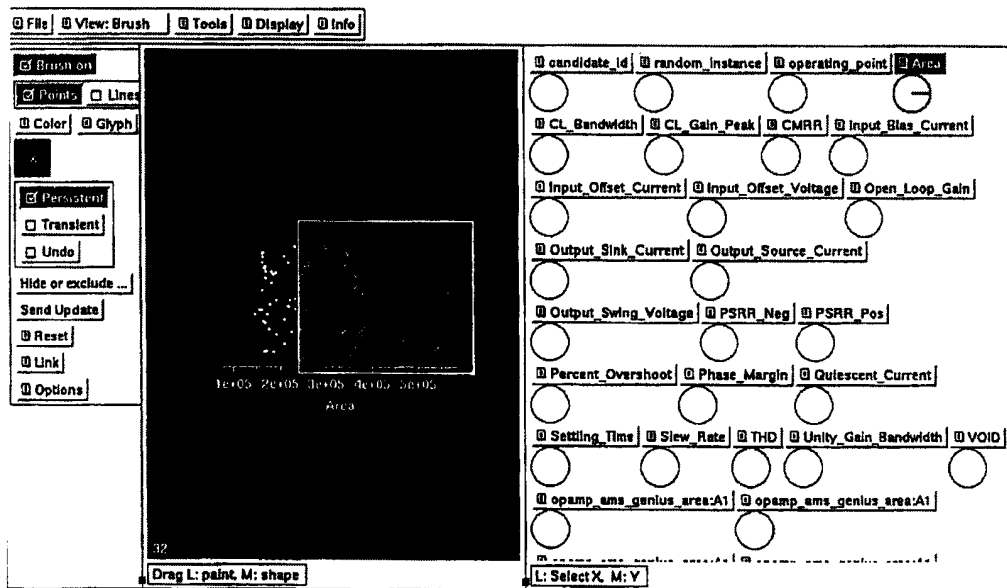


图 18A

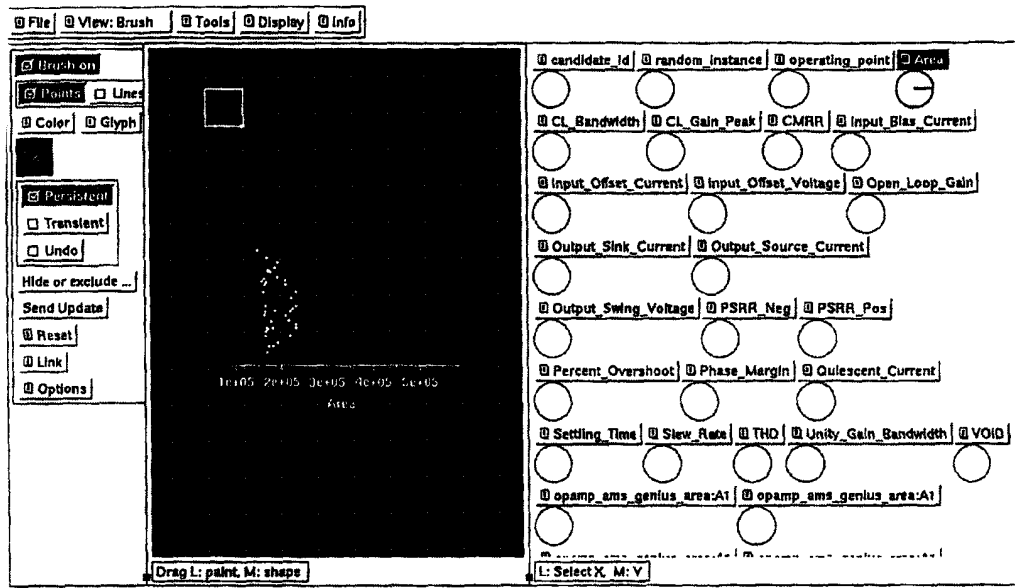


图 18B

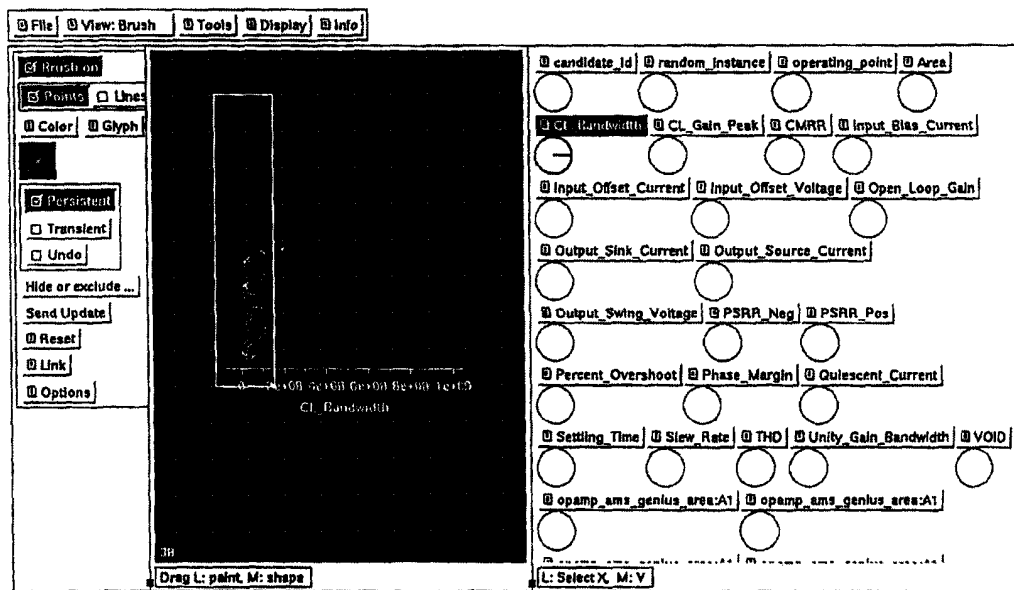


图 19A

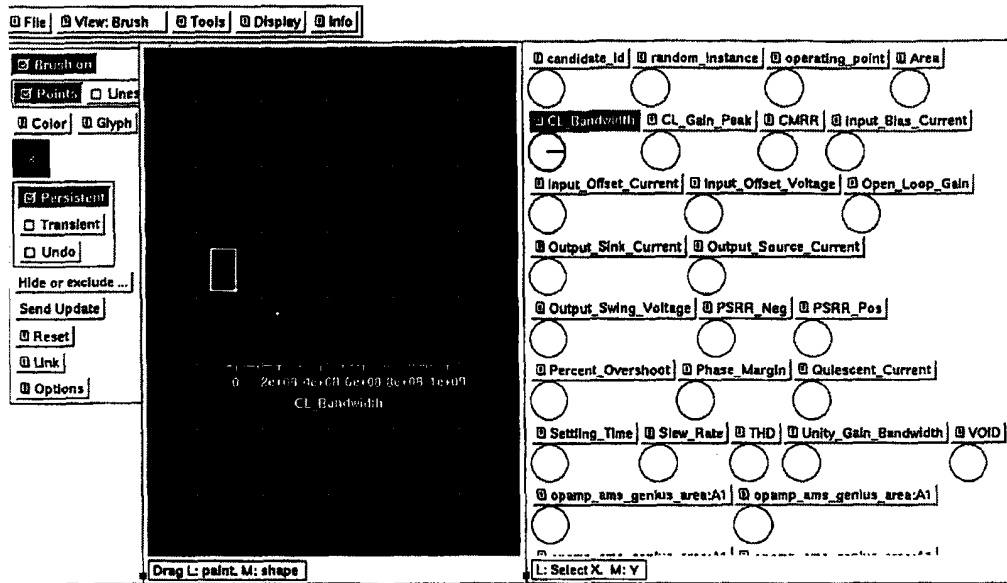


图 19B

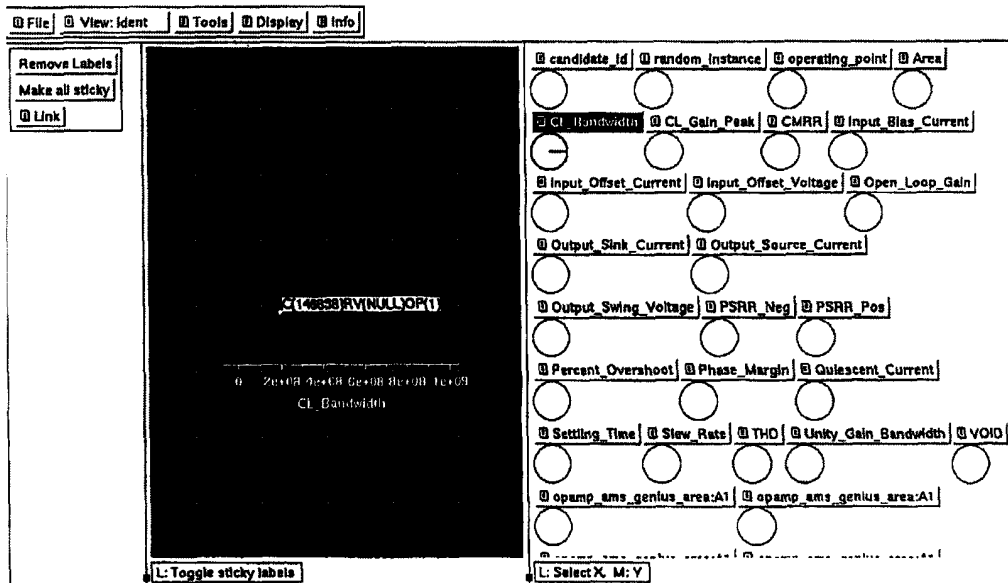


图 20

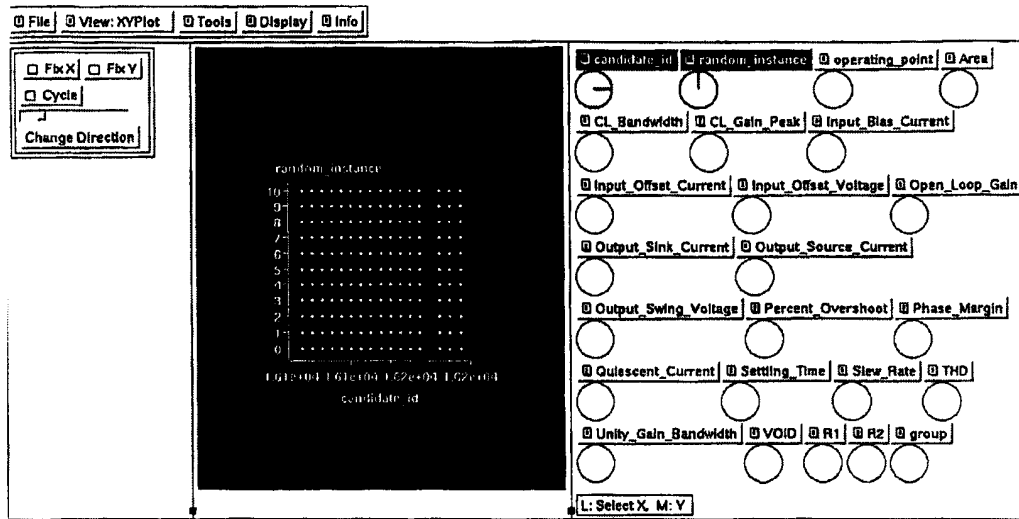


图 21A

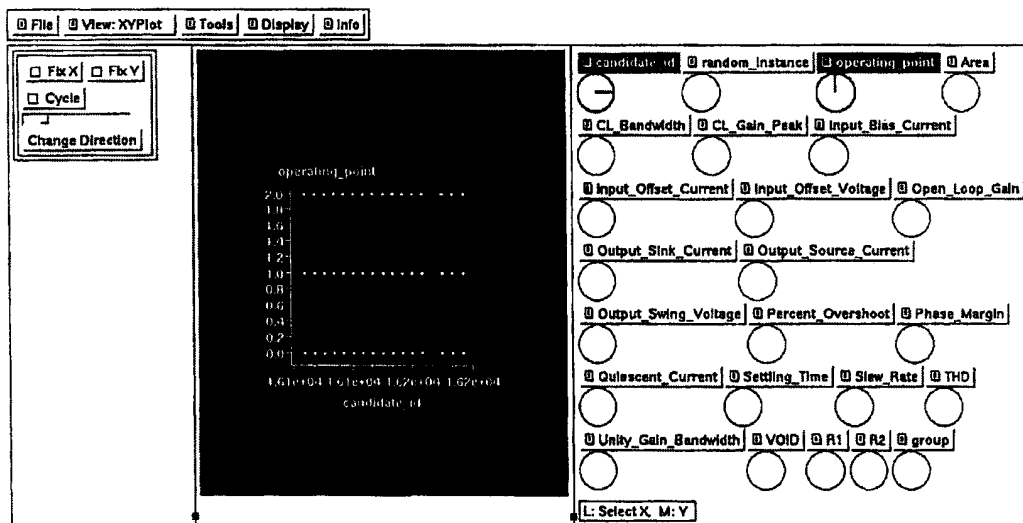


图 21B

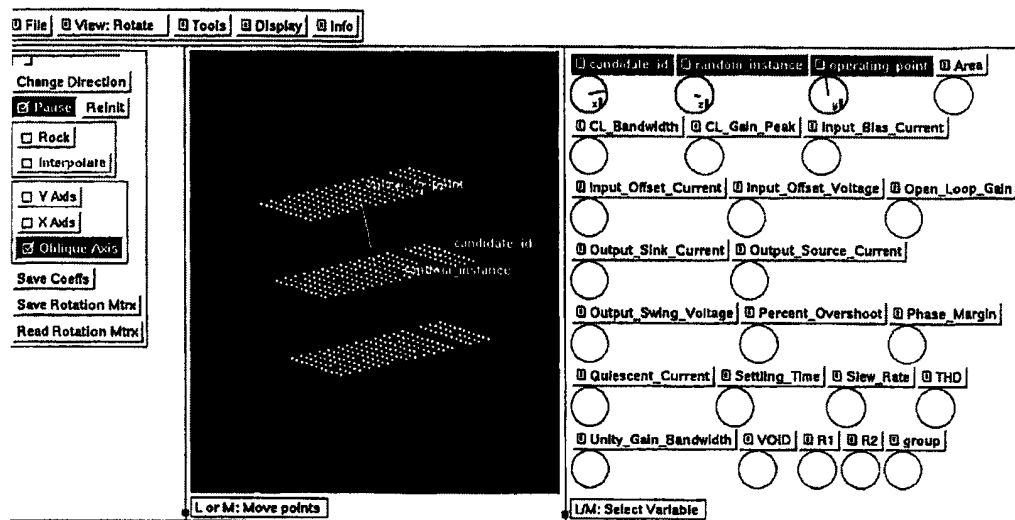


图 21C

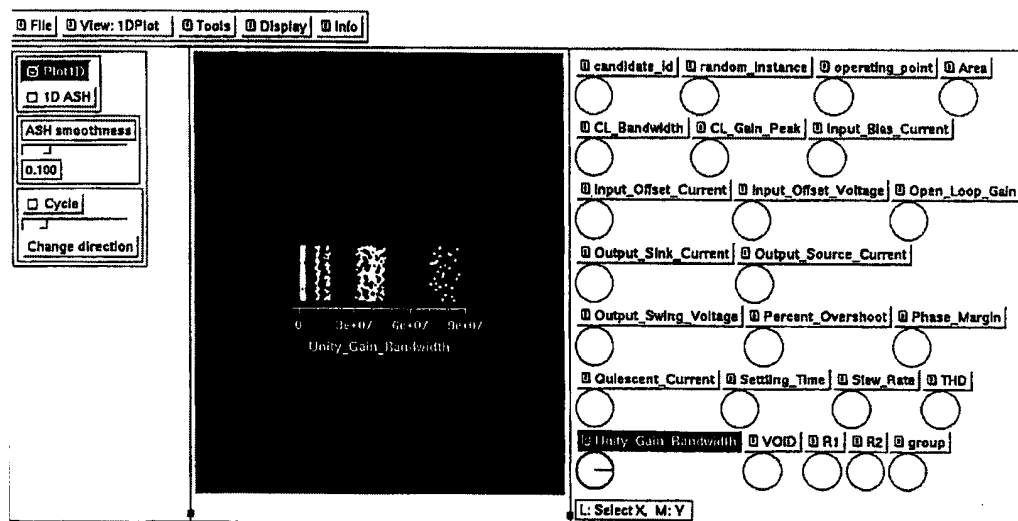


图 22A

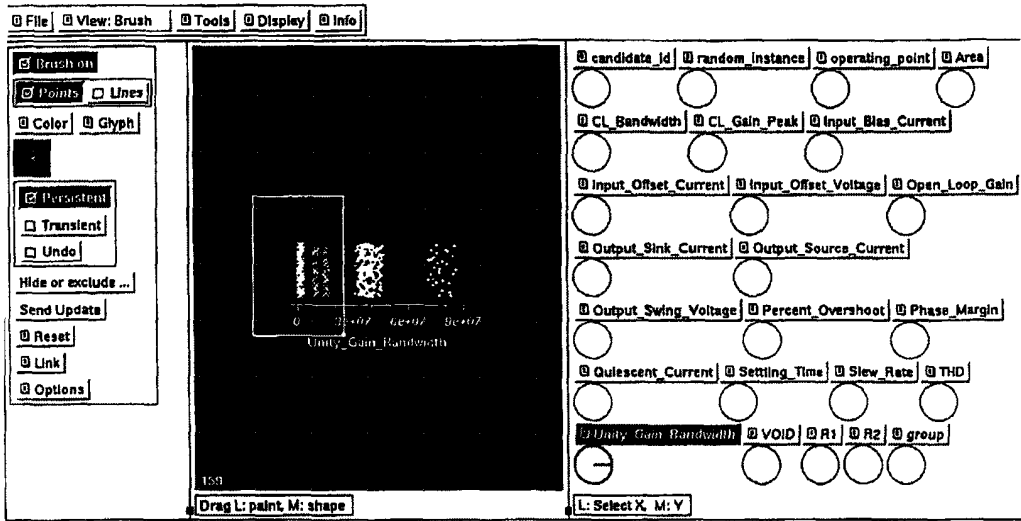


图 22B

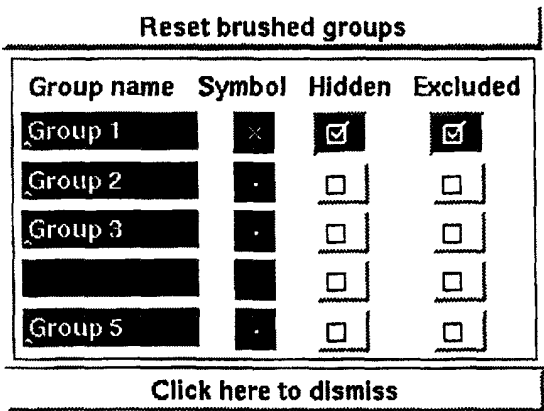


图 22C

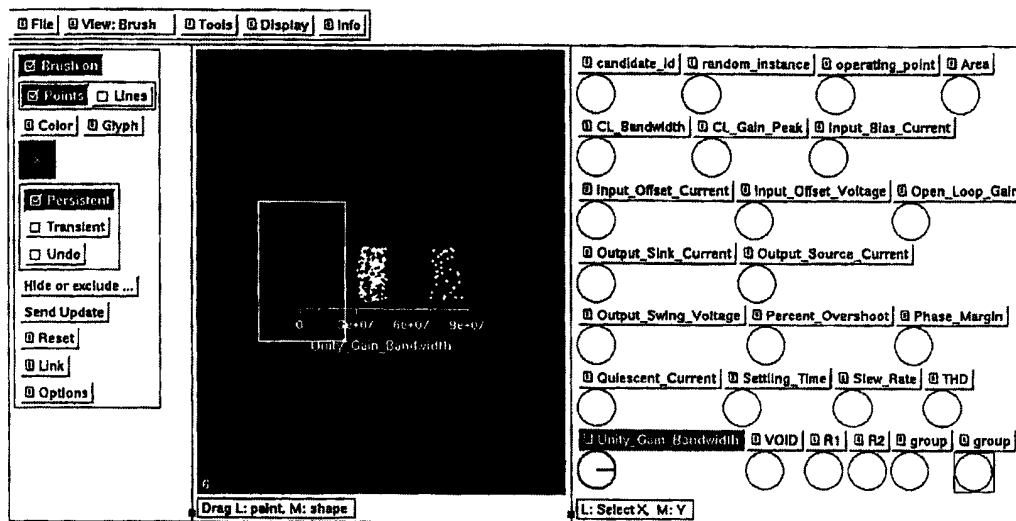


图 22D

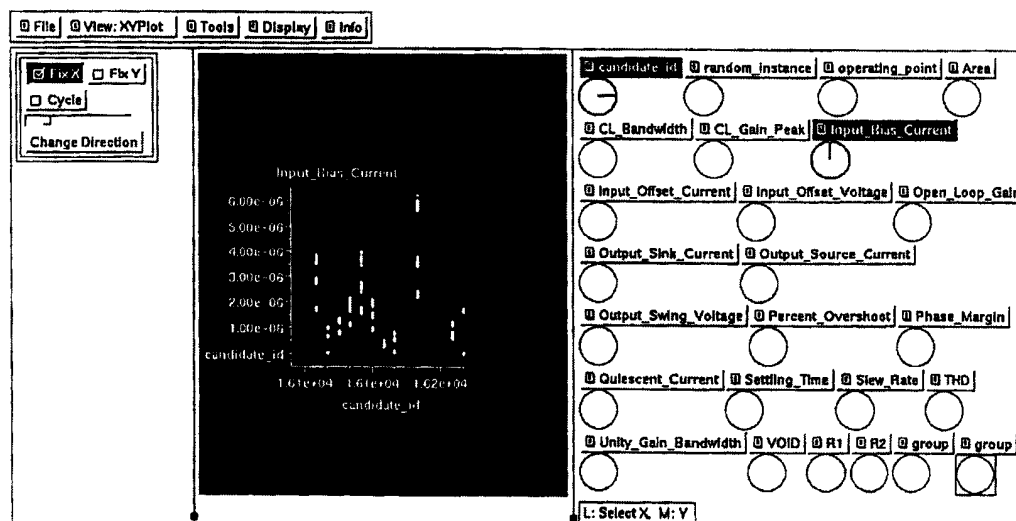


图 23A

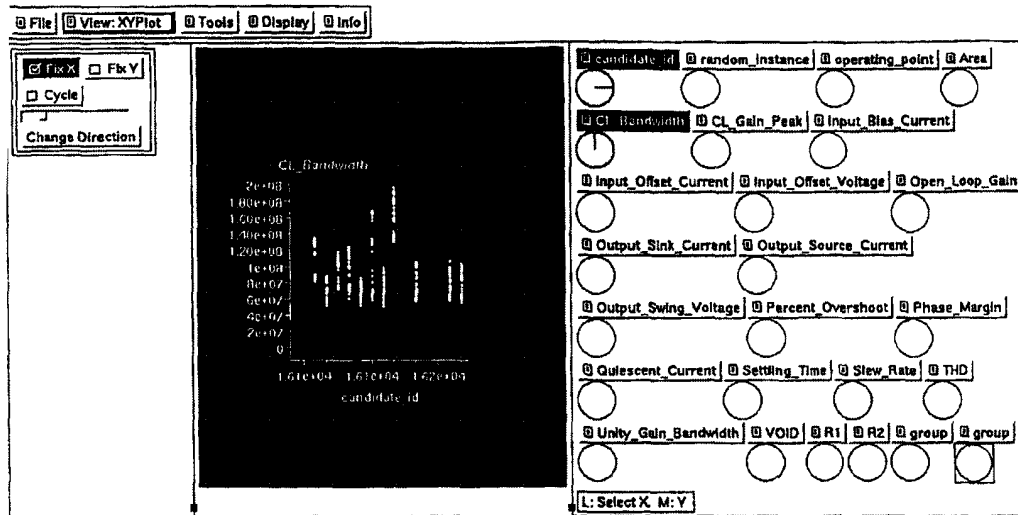


图 23B

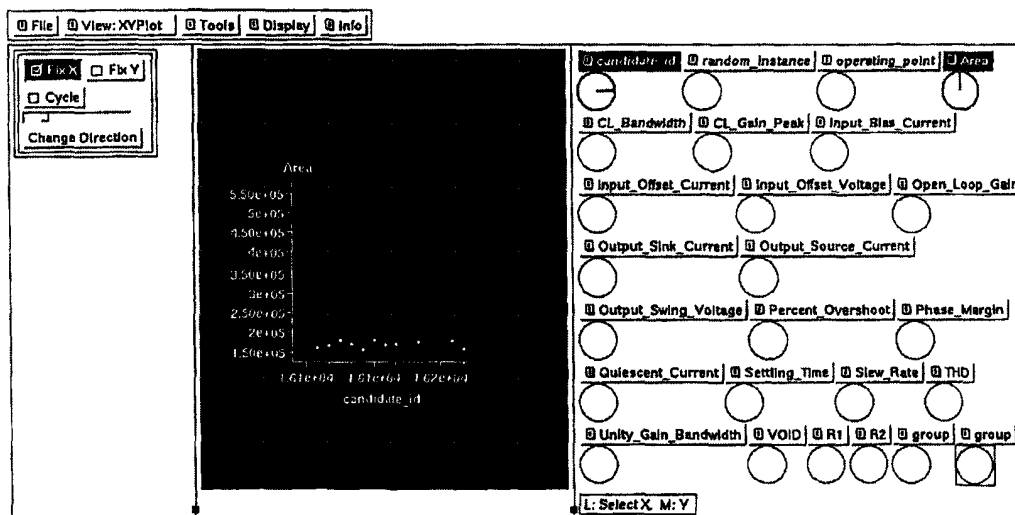


图 23C

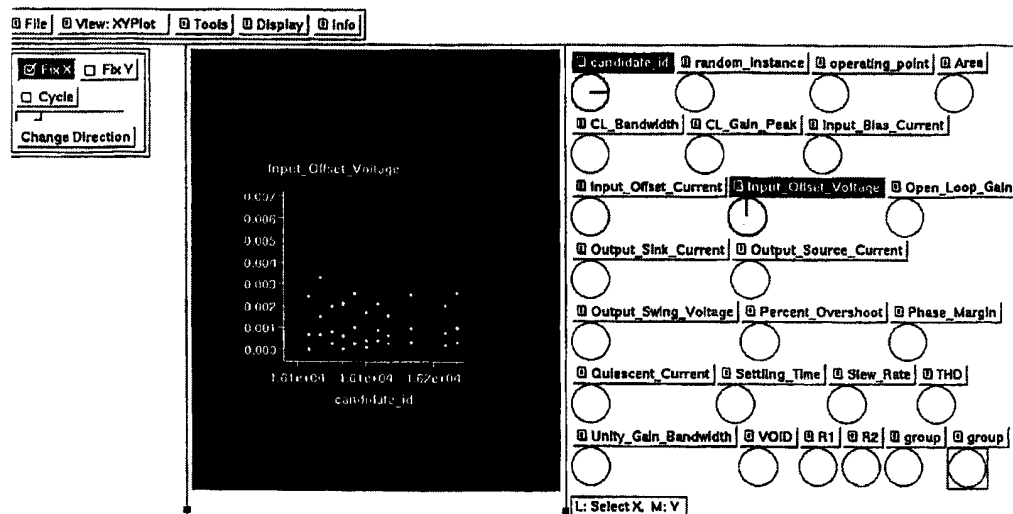


图 23D

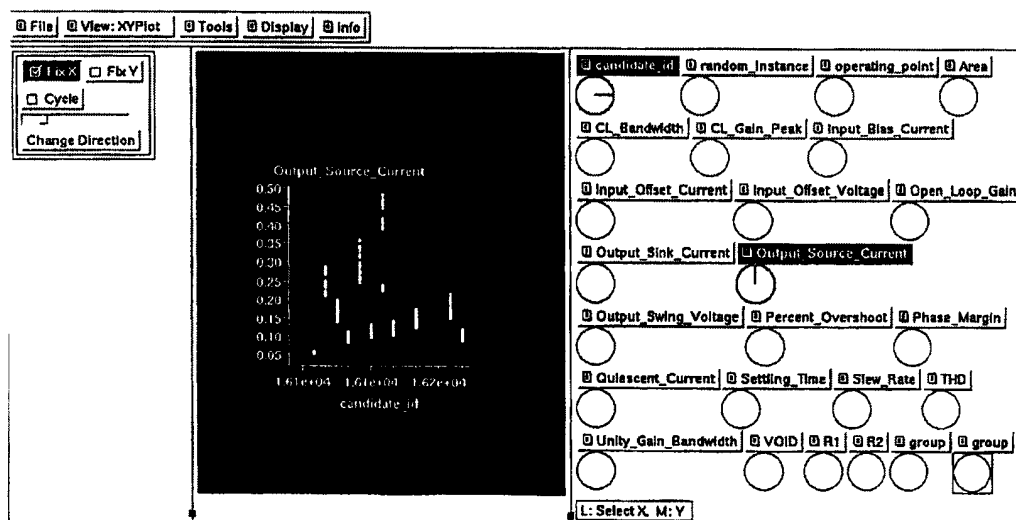


图 23E

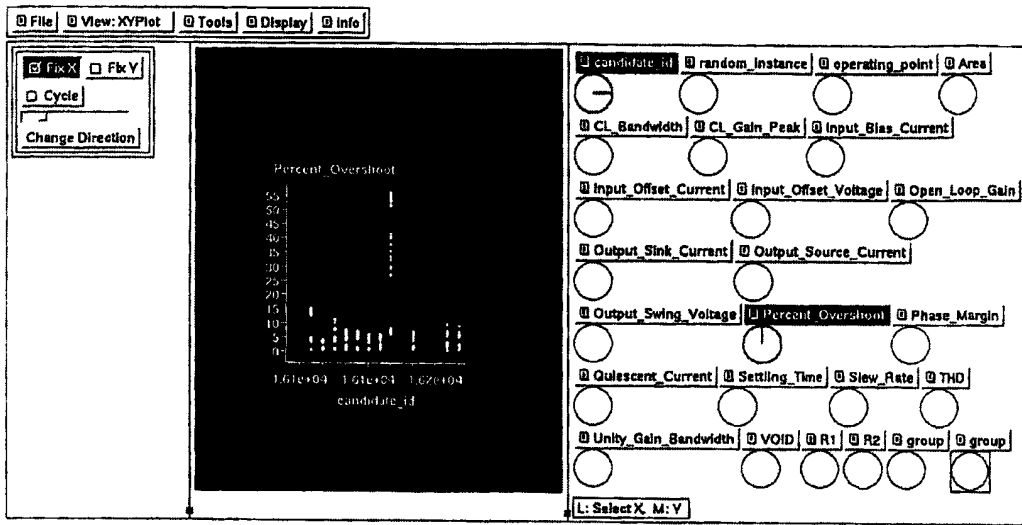


图 23F

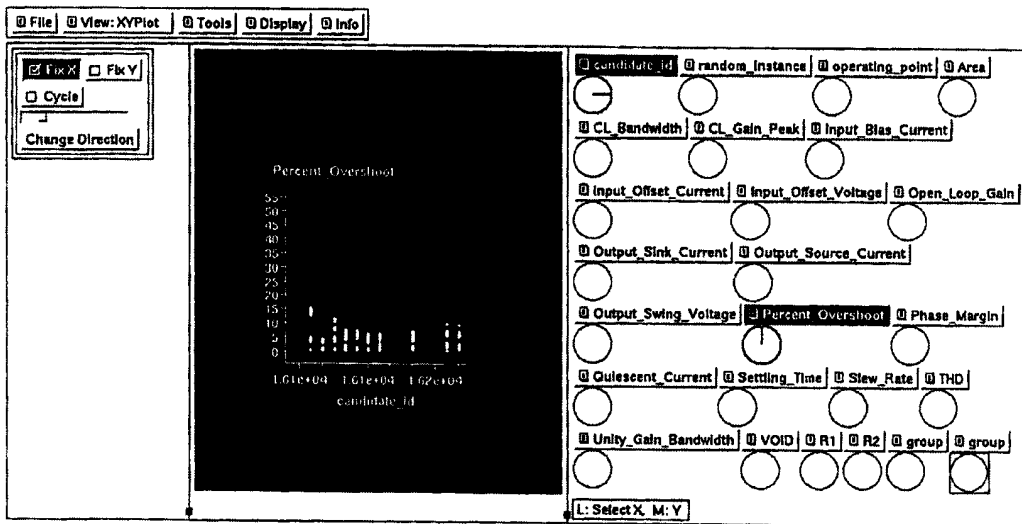


图 23G

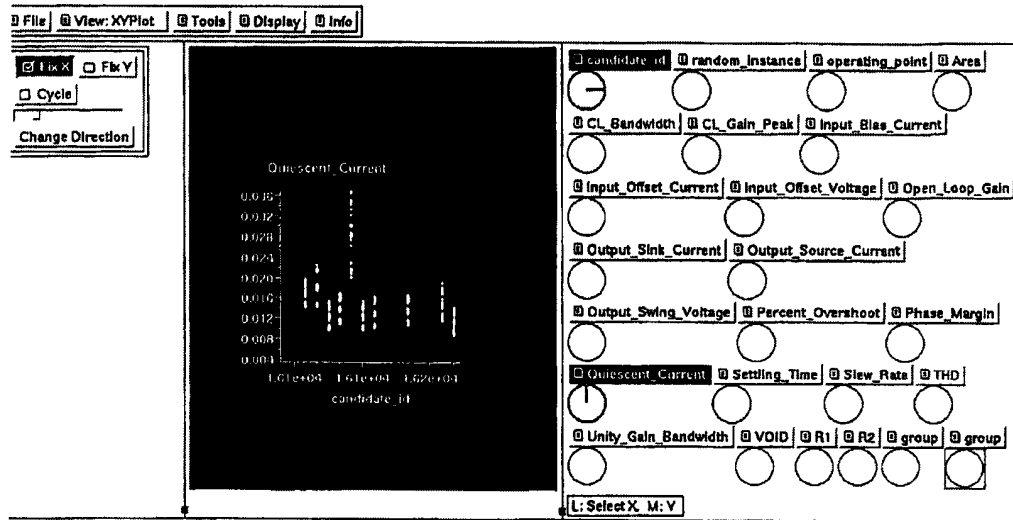


图 24A

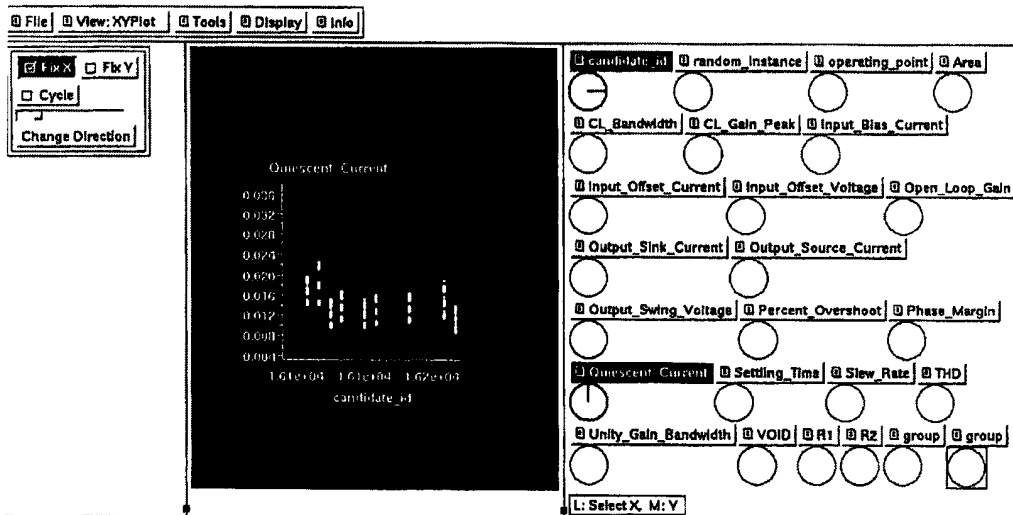


图 24B

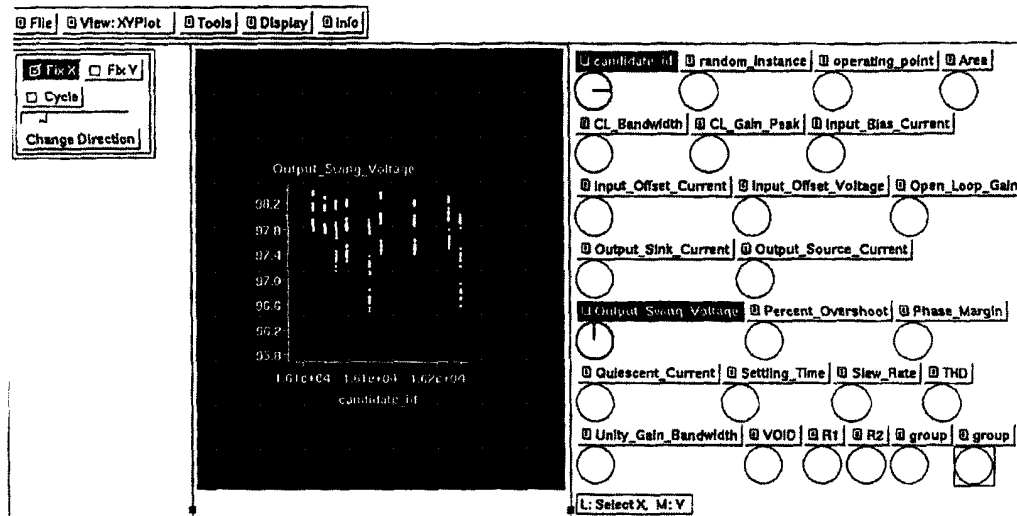


图 25A

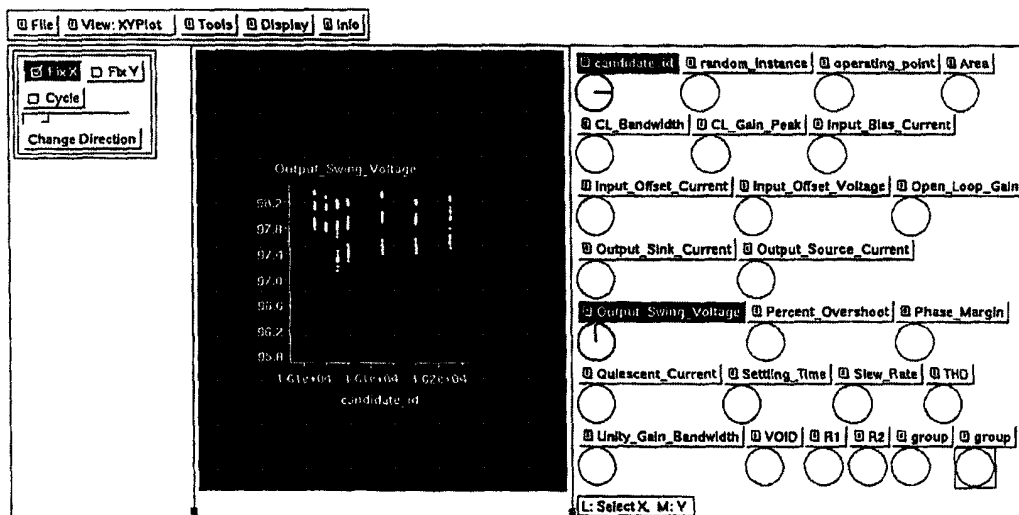


图 25B

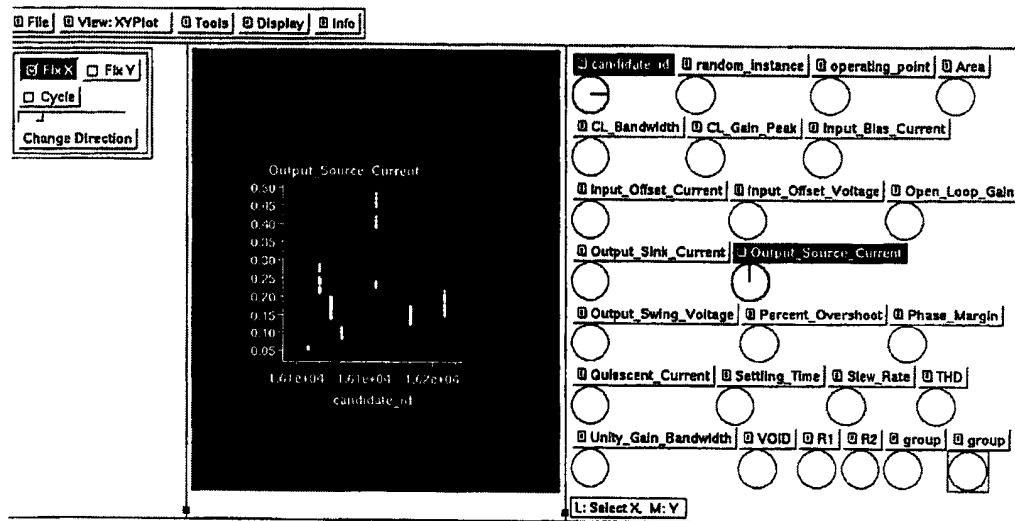


图 26A

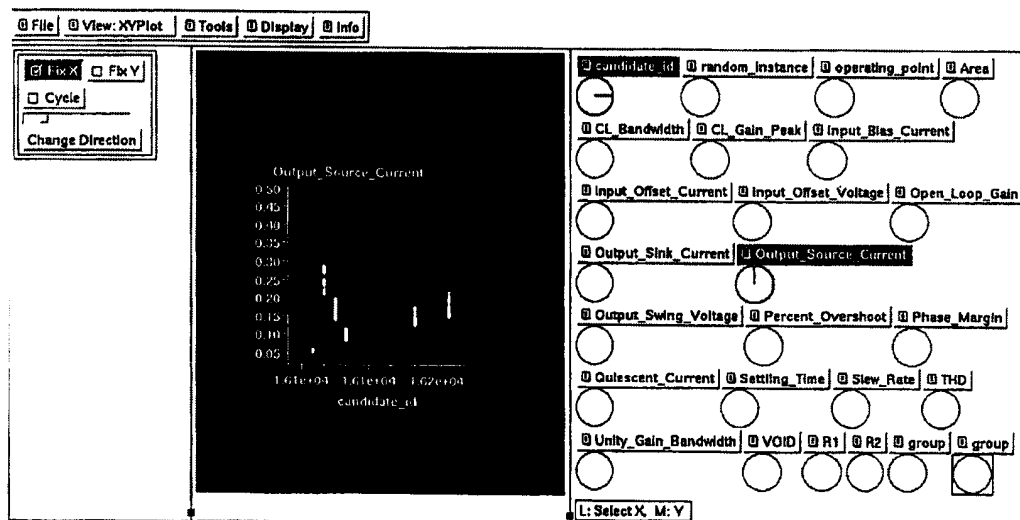


图 26B

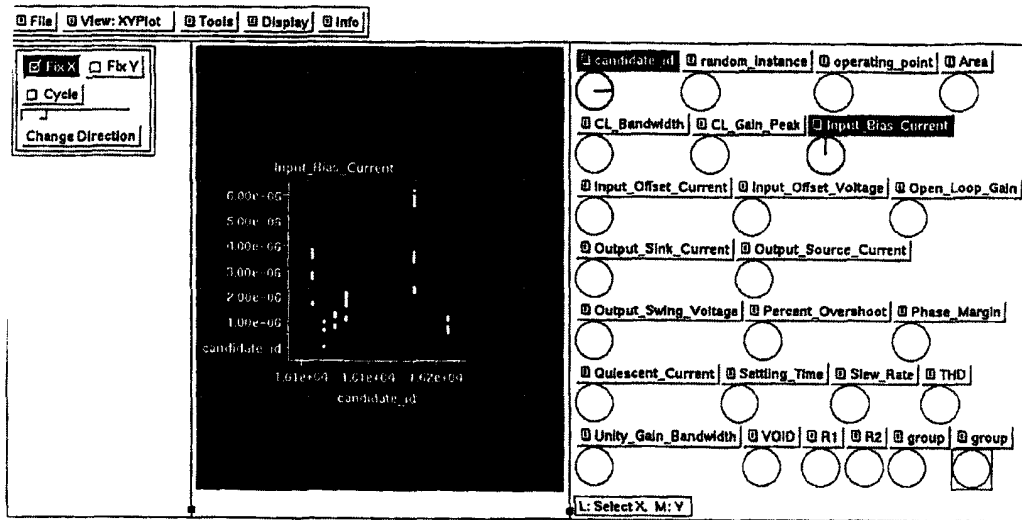


图 27A

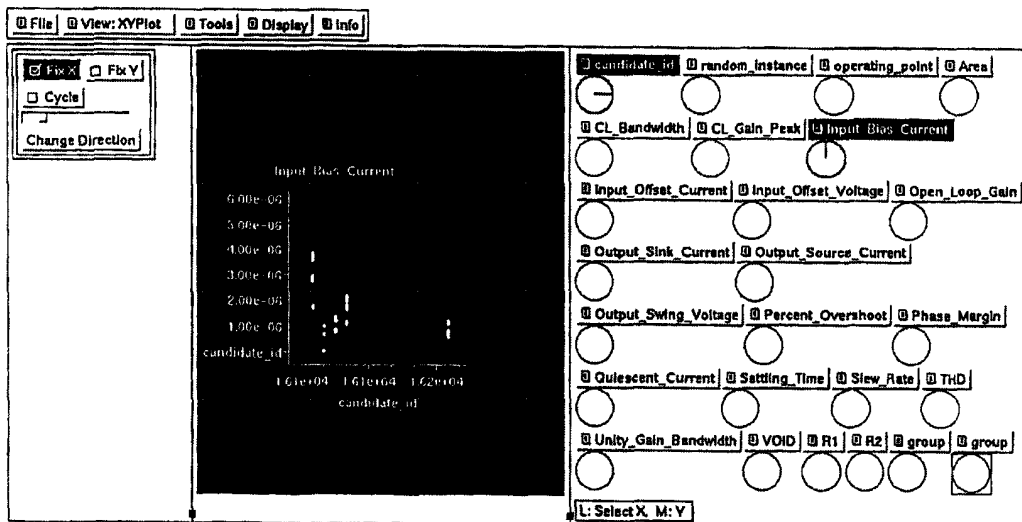


图 27B

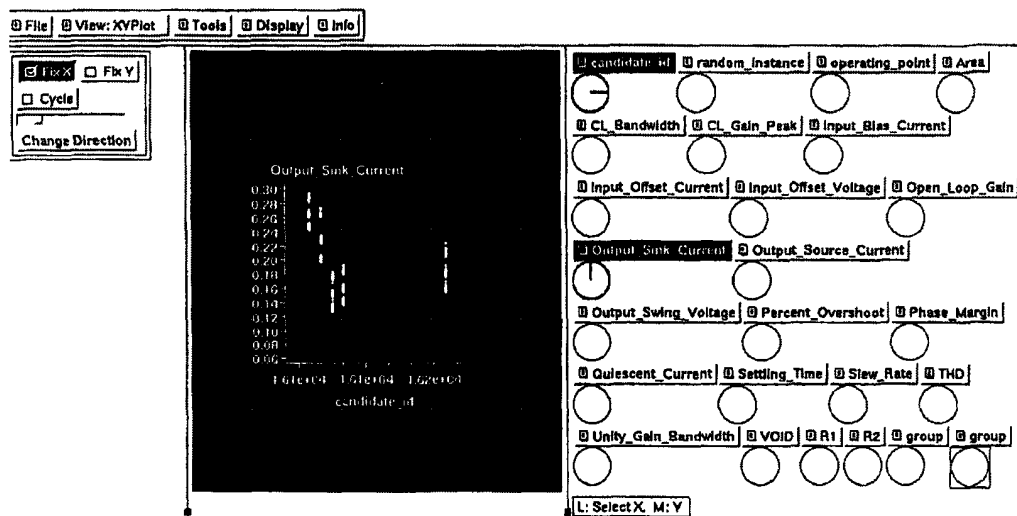


图 28A

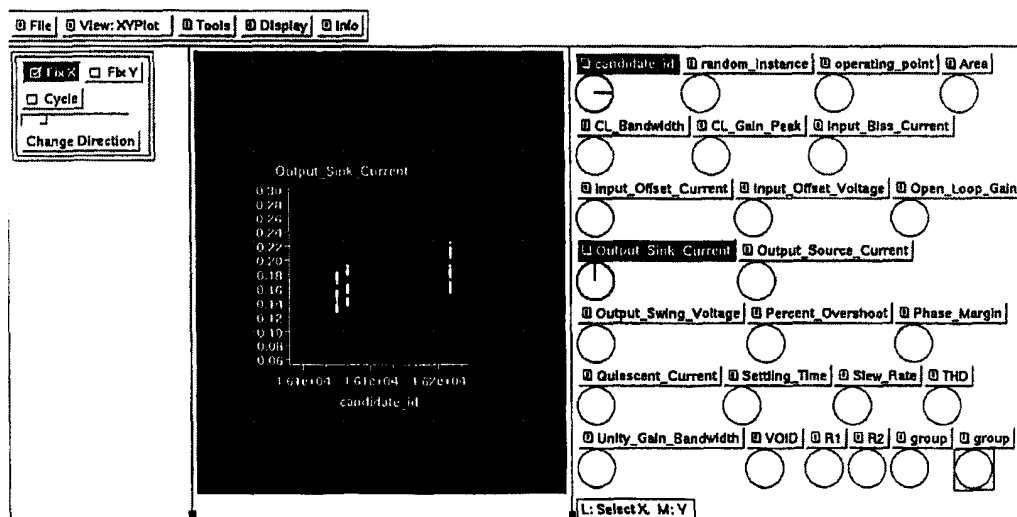


图 28B

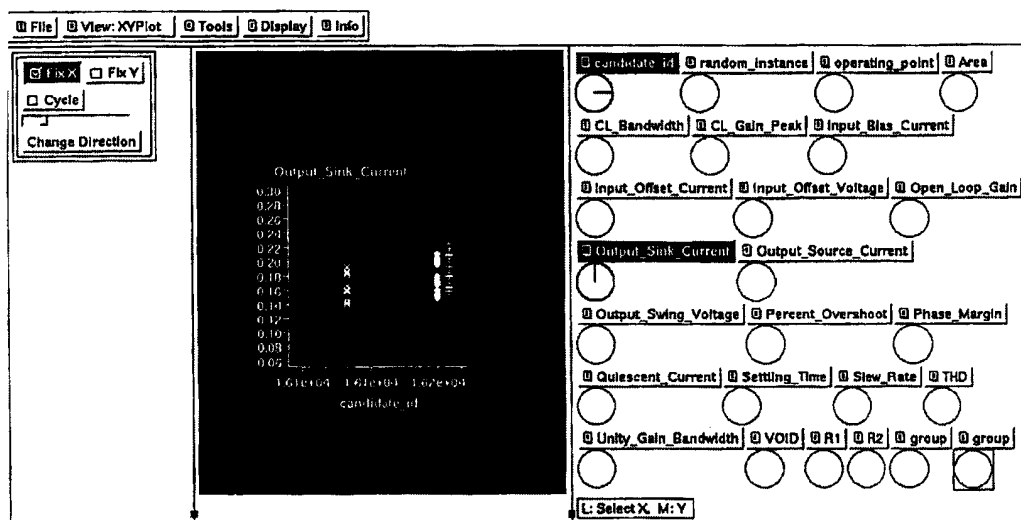


图 29A

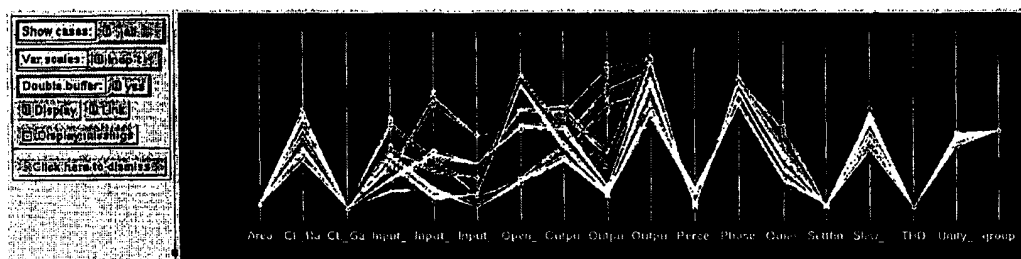


图 29B

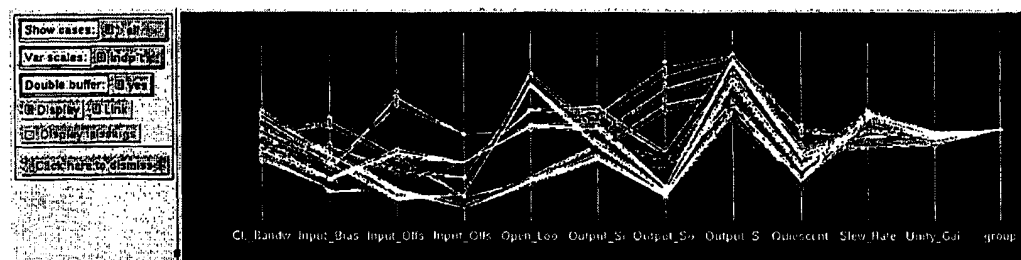


图 29C

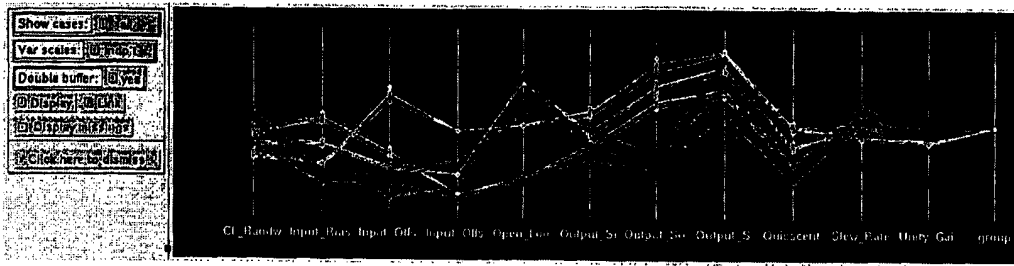


图 31

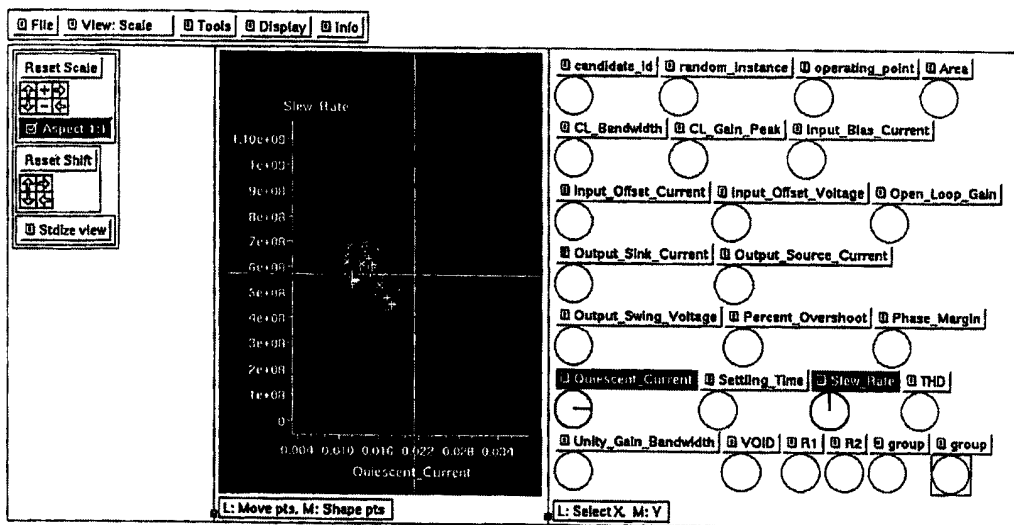


图 32A

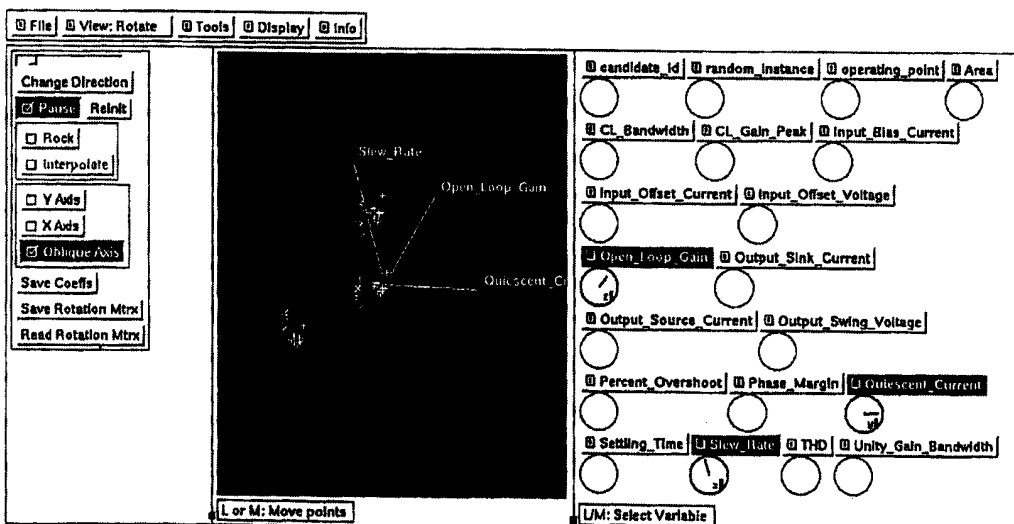


图 32B

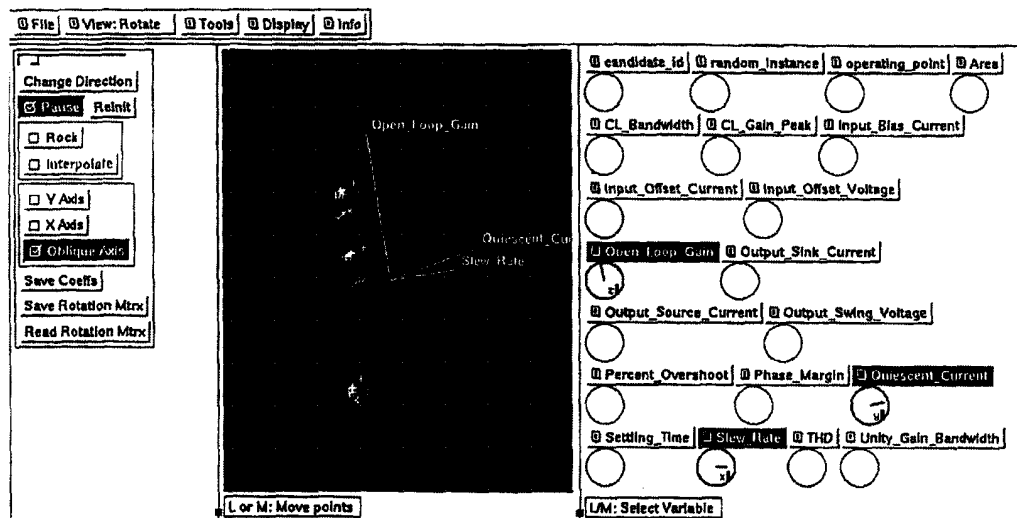


图 32C

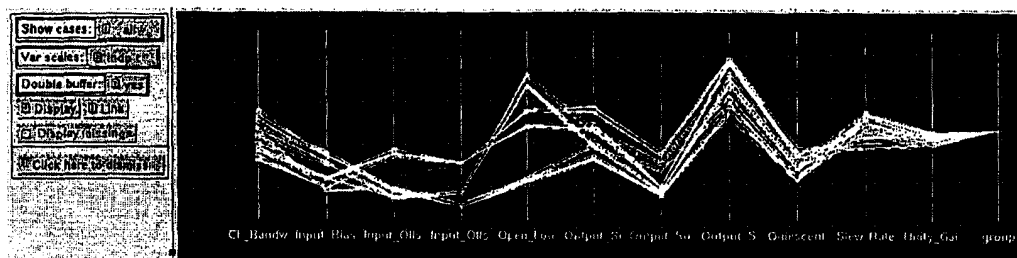


图 33A

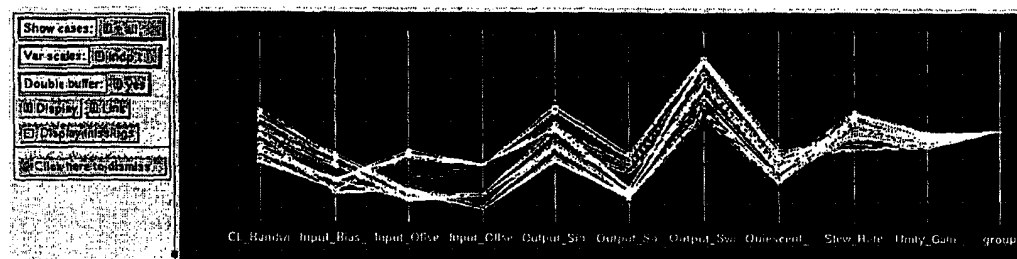


图 33B

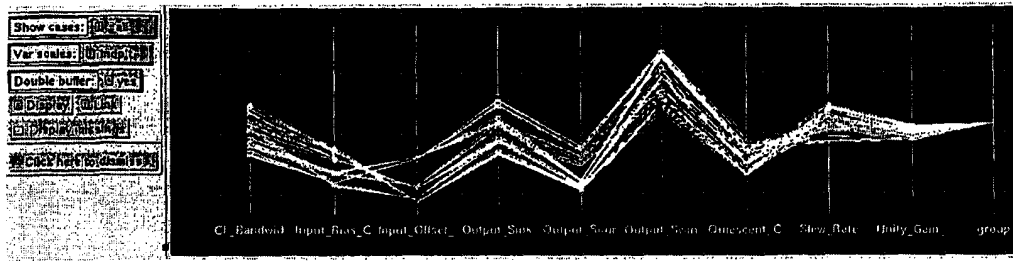


图 33C

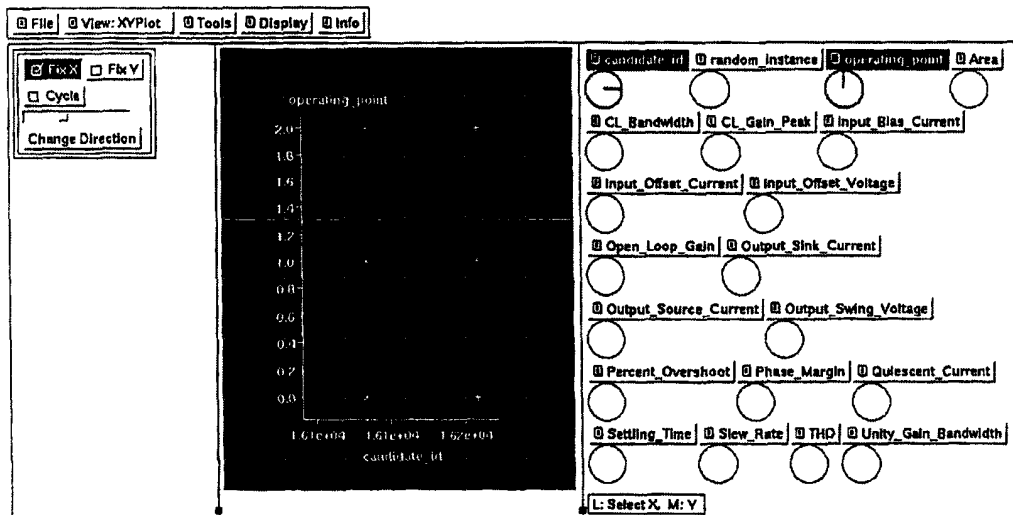


图 34A

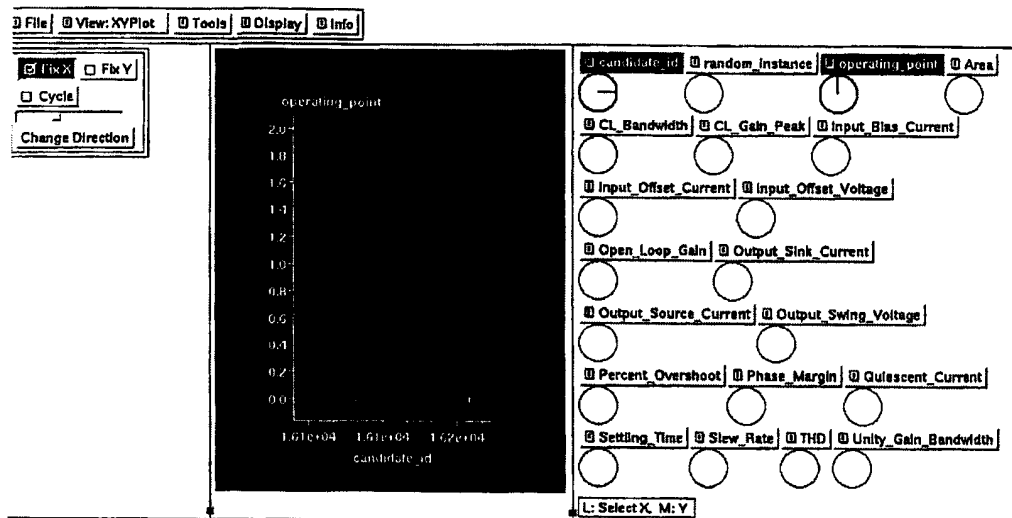


图 34D

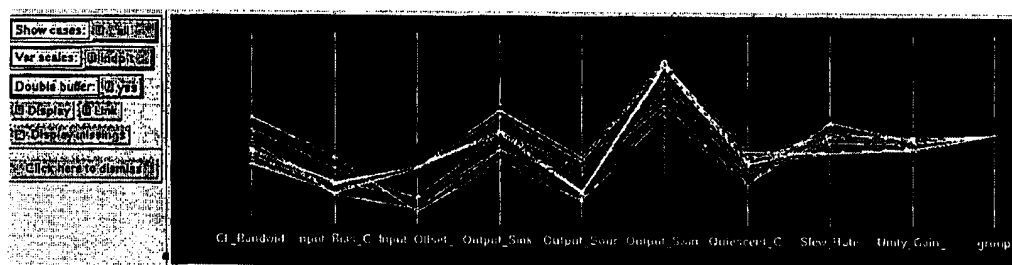


图 35

1. 一种通过优化的设计候选方案的交互式图示法选择电路设计方案的方法, 包括:

5 提供一个优化的候选设计方案的多维数据集, 该优化的候选设计方案是多目标最优化的结果;

将优化的候选设计方案的该多维数组显示为多个图表; 以及

通过与显示的优化的候选设计方案进行交互作用, 交互地修改该多个图中的至少一个, 以从该多维数据集中识别一个估值数据集。

2. 按照权利要求 1 的方法, 其中, 显示多个图表包括显示一维图表。

10 3. 按照权利要求 1 的方法, 其中, 显示多个图表包括显示多维图表。

4. 按照权利要求 3 的方法, 其中, 显示多维图表包括显示二维图表。

5. 按照权利要求 3 的方法, 其中, 显示多维图表包括显示三维图表。

6. 按照权利要求 3 的方法, 其中, 显示多维图表包括显示旋转图表。

15 7. 按照权利要求 3 的方法, 其中, 显示多维图表包括显示平行坐标图表。

8. 按照权利要求 1 的方法, 其中, 交互地修改所述多个图表中的至少一个包括对所述多个图表中的至少一个实行滤除。

9. 按照权利要求 8 的方法, 其中, 实行滤除包括刷多个图表中的至少一个。

20 10. 按照权利要求 8 的方法, 其中, 实行滤除包括定义所述多维数据集的变化的约束函数。

11. 按照权利要求 10 的方法, 其中, 该约束函数是非线性的。

12. 按照权利要求 1 的方法, 其中, 交互地修改所述多个图表中的至少一个包括创建变化的映射。

25 13. 按照权利要求 1 的方法, 其中, 交互地修改所述多个图表中的至少一个包括创建用于减少维数的映射。

14. 按照权利要求 1 的方法, 其中, 交互地修改所述多个图表中的至少一个包括创建变化的加权和。

15. 按照权利要求 1 的方法, 进一步包括:

30 将所述估值数据集显示为进一步的估值图表; 以及

交互地修改该显示的进一步的估值图表，以从该估值数据集中选择一个精炼的估值数据集。

16. 按照权利要求 1 的方法，其中，该多维数据集包括从多目标最优化衍生的电路度量标准。

5 17. 按照权利要求 1 的方法，其中，该电路度量标准包括模拟电路度量标准。

18. 一种通过多维数据集的交互式图示法选择电路设计方案的系统，包括：

用于存储多维数据集的数据库；

10 一个显示器，可操作性地连接到该数据库，用于将该多维数据集显示为多个图表；以及

用于交互地修改该多个图表中的至少一个以从该多维数据集中选择一个估值数据集的装置。