

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2025 年 6 月 19 日 (19.06.2025)



(10) 国际公布号
WO 2025/124166 A1

(51) 国际专利分类号:

G06F 30/3308 (2020.01)

(21) 国际申请号:

PCT/CN2024/135598

(22) 国际申请日:

2024 年 11 月 29 日 (29.11.2024)

(25) 申请语言:

中文

(26) 公布语言:

中文

(30) 优先权:

202311710768.3 2023年12月13日 (13.12.2023) CN

(71) 申请人:上海概伦电子股份有限公司(PRIMARIUS

TEHCNOLOGIES CO., LTD.) [CN/CN]; 中国上海市浦东新区中国(上海)自由贸易试验区临港新片区环湖西二路888号C楼 201306 (CN)。

(72) 发明人:李永胜(LI, Yongsheng); 中国上海市浦东新区中国(上海)自由贸易试验区临港新片区环湖西二路888号C楼 201306 (CN)。石凯(SHI, Kai); 中国上海市浦东新区中国(上海)自由贸易试验区临港新片区环湖西二路888号C楼 201306 (CN)。王可亮(WANG, Kelian); 中国上海市浦东

新区中国(上海)自由贸易试验区临港新片区环湖西二路888号C楼 201306 (CN)。

(74) 代理人:上海汉声知识产权代理有限公司(SHANGHAI HANGSOME INTELLECTUAL

PROPERITY LTD); 中国上海市闵行区银都路3828弄55号307室 201108 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家

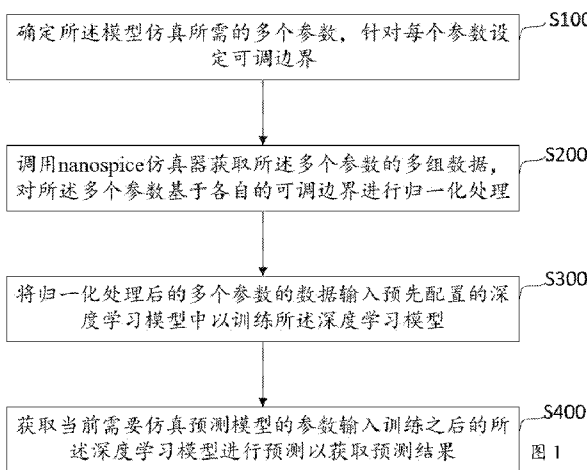
保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区

保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚

(54) Title: DEEP LEARNING-BASED MODEL SIMULATION PREDICTION METHOD AND SYSTEM

(54) 发明名称: 一种基于深度学习的模型仿真预测方法及系统



(57) Abstract: Disclosed in the present invention is a deep learning-based model simulation prediction method, comprising the following steps: determining a plurality of parameters needed by model simulation, and setting an adjustable boundary for each parameter; calling a nanospice simulator to obtain a plurality of groups of data of the plurality of parameters, and normalizing the plurality of parameters on the basis of respective adjustable boundaries; inputting data of the plurality of normalized parameters into a pre-configured deep learning model to train the deep learning model; and obtaining parameters currently needed by model simulation prediction, inputting the parameters into the trained deep learning model, and performing prediction to obtain a prediction result. Resistance and capacitance data of a model can be accurately predicted, and the simulation prediction efficiency is improved through neural network training and prediction of bias-dependent current and capacitance curves under different parameters.

- S100 Determine a plurality of parameters needed by model simulation, and set an adjustable boundary for each parameter
- S200 Call a nanospice simulator to obtain a plurality of groups of data of the plurality of parameters, and normalize the plurality of parameters on the basis of respective adjustable boundaries
- S300 Input data of the plurality of normalized parameters into a pre-configured deep learning model to train the deep learning model
- S400 Obtain parameters currently needed by model simulation prediction, input the parameters into the trained deep learning model, and perform prediction to obtain a prediction result

图 1



(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

根据细则4.17的声明:

— 发明人资格(细则4.17(iv))

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 本发明公开一种基于深度学习的模型仿真预测方法, 包括以下步骤: 确定所述模型仿真所需的多个参数, 针对每个参数设定可调边界; 调用nanospice仿真器获取所述多个参数的多组数据, 对所述多个参数基于各自的可调边界进行归一化处理; 将归一化处理后的多个参数的数据输入预先配置的深度学习模型中以训练所述深度学习模型; 获取当前需要仿真预测模型的参数输入训练之后的所述深度学习模型进行预测以获取预测结果。能够准确的对模型的电阻、电容数据进行预测, 通过神经网络训练和预测不同参数下电流、电容随bias变化曲线, 提高仿真预测效率。

一种基于深度学习的模型仿真预测方法及系统

技术领域

本发明属于芯片设计技术领域，尤其涉及一种基于深度学习的模型仿真预测方法及系统。

背景技术

在芯片设计技术领域，针对复杂继承电路的模型参数计算一直都是一项核心工作，模型仿真计算即输入一组模型参数，计算得出如电流、电容值作为输出。传统方法是通过复杂计算公式，用如拟牛顿方法计算，缺点是计算速度慢、输出与参数的偏导数不易得出，多组参数对应的多输出并行计算困难，不能直接获取仿真对参数的偏导数，迫不得已差分求导。

随着科技的发展，集成电路技术得到了长足的进步，集成度不断提高，功耗不断降低。与此各种复杂的应用场景对集成电路的性能和功耗提出了更高的要求。传统的硬件设计方法已经无法满足这些需求，需要借助算法设计来进行优化仿真。

发明内容

为解决上述问题，本发明的目的是提供一种基于深度学习的模型仿真预测方法及系统，能够准确的对模型的电阻、电容数据进行预测，通过神经网络训练和预测不同参数下电流、电容随 bias 变化曲线。

本发明的技术方案为：一种基于深度学习的模型仿真预测方法，包括以下步骤：确定所述模型仿真所需的多个参数，针对每个参数设定可调边界；调用 nanospice 仿真器获取所述多个参数的多组数据，对所述多个参数基于各自的可调边界进行归一化处理；将归一化处理后的多个参数的数据输入预先配置的深度学习模型中以训练所述深度学习模型；获取当前需要仿真预测模

型的参数输入训练之后的所述深度学习模型进行预测以获取预测结果。优选的，本实施例中的所述机器学习模型可以是反卷积神经网络、全连接、GAN、AE 等网络，本技术方案的核心在于在以上机器学习模型的基础上，如何获取参数以及如何对参数进行预处理，使得最终能够对模型进行有效的训练，最终获得一个能够准确对模型（moudle）的电阻、电容进行预测的机器学习模型。

优选的，确定所述模型仿真所需的多个参数，针对每个参数设定可调边界进一步包括：基于历史真实工程经验确定所述多个参数，包括：k2、u0、ua、eu、uc、vsat、a1、a2、nfactor、eta0、etab、pclm、pdible、ndep；采取标准平均分布随机或是取对数后的平均分布进行随机以得到所述多个参数的多组数值；基于所述多个参数的多组数值替换预设模型卡中的对应数值。

优选的，在对所述多个参数基于各自的可调边界进行归一化处理之前所述方法还包括：基于预先构建的网表文件将所述多个参数的多组数值数据写入所述网表文件中，其中所述网表文件预先根据对应模型的真实测点构建；依据测量点进行划分，每个尺寸均包含多组不同的曲线。

优选的，对所述多个参数基于各自的可调边界进行归一化处理进一步包括：当采取标准平均分布随机方法对参数进行归一化处理时，基于每个参数的所述可调边界的上限和下限进行归一化处理，处理结果处于 0~1 之间；当采取取对数后的平均分布进行随机方法对参数进行归一化处理时，先将参数值取对数、每个参数的所述可调边界的上限和下限也取对数，进而基于值的对数、上限的对数以及下限的对数进行归一化处理，处理结果处于 0~1 之间。

优选的，所述方法还包括：在采取标准平均分布随机或是取对数后的平均分布进行随机以得到所述多个参数的多组数值之后，基于设定的可调边界以及物理事实进行初步筛选以预防所述仿真器出错。

优选的，将归一化处理后的多个参数的数据输入预先配置的所述深度学习模型中以训练所述深度学习模型之前还包括：通过解析模块将 nanospice 仿真器仿真的结果转译成 tfrecord 格式用于存储，以便于训练网络。

优选的，将归一化处理后的多个参数的数据输入预先配置的仿真器中以训练所述深度学习模型进一步还包括：采用了 tensorflow.keras 库中的 Model 类的 fit 方法，训练集与验证集比例为 6:1，每批的样本数量为 600；采用 Adam 作为优化器，学习率为 $1e-3$ ，以电流、电容作为输出，损失函数选用 Mean Squared Logarithmic Error。

基于相同的构思，本发明还提供一种基于深度学习的模型仿真预测系统，包括：参数确定模块，用于确定所述模型仿真所需的多个参数，针对每个参数设定可调边界；预处理模块，用于调用 nanospice 仿真器获取所述多个参数的多组数据，对所述多个参数基于各自的可调边界进行归一化处理；模型训练模块，用于将归一化处理后的多个参数的数据输入预先配置的深度学习模型中以训练所述深度学习模型；结果预测模块，用于获取当前需要仿真预测模型的参数输入训练之后的所述深度学习模型进行预测以获取预测结果。

基于相同的构思，本发明还提供一种电子设备，其特征在于，包括：存储器，所述存储器用于存储处理程序；处理器，所述处理器执行所述处理程序时实现上述任意一项所述的基于深度学习的模型仿真预测方法。

基于相同的构思，本发明还提供一种可读存储介质，其特征在于，所述可读存储介质上存储有处理程序，所述处理程序被处理器执行时实现上述任意一项所述的基于深度学习的模型仿真预测方法。

本发明由于采用以上技术方案，使其与现有技术相比具有以下优点和积极效果：

1、本发明的技术方案中，通过随机自动生成多个参数的多组数据，进行预处理，基于预处理之后的数据以及调用 nanospice 仿真器仿真得到的电阻、电容仿真结果输入深度学习模型对其进行训练，从而实现基于深度学习模型对电阻、电容数据进行仿真预测，通过神经网络训练和预测不同参数下电流、电容随 bias 变化曲线，提高仿真预测效率。

2、本发明中采用 nanospice 仿真器，通过网表来定义具体电路情况以及具体的测量情况。在生成仿真网表中时，根据一组代工厂的真实测量点构建

相应的网表文件，为机器学习模型赋予了该应用场景之下的物理意义。

附图说明

下面结合附图对本发明的具体实施方式作进一步详细说明，其中：

图 1 为本发明基于深度学习的模型仿真预测方法流程图；

图 2 为本发明一个实施例中深度学习神经网络模型的示意图；

图 3 为本发明基于深度学习的模型仿真预测结果示意图。

具体实施方式

以下结合附图和具体实施例对本发明作进一步详细说明。根据下面说明和权利要求书，本发明的优点和特征将更清楚。需说明的是，附图均采用非常简化的形式且均使用非精准的比率，仅用以方便、明晰地辅助说明本发明实施例的目的。

需要说明，本发明实施例中所有方向性指示(诸如上、下、左、右、前、后……)仅用于解释在某一特定姿态(如附图所示)下各部件之间的相对位置关系、运动情况等，如果该特定姿态发生改变时，则该方向性指示也相应地随之改变。

第一实施例

如图 1 所示，本实施例提供一种基于深度学习的模型仿真预测方法，包括以下步骤：

S100：确定所述模型仿真所需的多个参数，针对每个参数设定可调边界；

S200：调用 nanospice 仿真器获取所述多个参数的多组数据，对所述多个参数基于各自的可调边界进行归一化处理；

S300：将归一化处理后的多个参数的数据输入预先配置的深度学习模型中以训练所述深度学习模型；

S400：获取当前需要仿真预测模型的参数输入训练之后的所述深度学习模型进行预测以获取预测结果。

本实施例的技术方案中，通过随机自动生成多个参数的多组数据，进行预处理，基于预处理之后的数据以及调用 nanospice 仿真器仿真得到的电阻、电容仿真结果输入深度学习模型对其进行训练，从而实现基于深度学习模型对电阻、电容数据进行仿真预测，提高仿真预测效率。在确定多个参数之后，针对每个参数设定可调边界，优选的，在本方案中按照固定步长逐个修改参数大小，仿真，得到电流、电容随 bias 变化曲线。参数和曲线即训练所需数据。

优选的，确定所述模型仿真所需的多个参数，针对每个参数设定可调边界进一步包括：基于历史真实工程经验确定所述多个参数，包括：k2、u0、ua、eu、uc、vsat、a1、a2、nfactor、eta0、etab、pclm、pdiblc、ndep；采取标准平均分布随机或是取对数后的平均分布进行随机以得到所述多个参数的多组数值；基于所述多个参数的多组数值替换预设模型卡中的对应数值。

结合本发明的应用场景，本实施例中所确定的参数包括 k2、u0、ua、eu、uc、vsat、a1、a2、nfactor、eta0、etab、pclm、pdiblc、ndep，在此不对这些参数的含义进行冗余解释，以上参数均是半导体行业中常用的参数，模型（moudle）可以是 bsim4、bsim6、bsimcmg 等不同版本，以上所述参数来源于 bsim4、bsim6、bsimcmg 等不同版本。

举个例子，参见表 1，为了获取模型仿真训练的参数，先随机获取参数值，为了更加贴近真实情况，采用了一组真实的参数范围，并根据工程经验选择了一组较为全局的参数，共计 14 个。因为不同参数的分布具有不同特点，简便起见，根据工程经验逐参数选择了采取标准平均分布随机或是取对数后的平均分布进行随机：

表 1 参数表

参数名	下界	上界	随机方法	参数名	下界	上界	随机方法
k2	-1	0.5	标准	a2	-0.008	0.008	对数
u0	0.01	0.5	标准	nfactor	2e-5	1e-3	对数
ua	0.15	15	标准	eta0	-1e-15	0.4	对数

WO 2025/124166				PCT/CN2024/135598			
eu	0.1	5	标准	etab	-0.3	0.01	对数
uc	-1.5	3	标准	pclm	1e-3	3	对数
vsat	5.5e4	1.5e5	标准	pdiblc	2e-5	0.1	对数
al	-0.01	0.01	对数	ndep	1e22	1e25	对数

用上一过程中产生的随机值替换预先配置的模型卡中的对应参数值即可得到一个新的模型卡。由于采用 nanospice 仿真器，故而需要一个网表来定义具体电路情况以及具体的测量情况。

优选的，在对所述多个参数基于各自的可调边界进行归一化处理之前所述方法还包括：基于预先构建的网表文件将所述多个参数的多组数值数据写入所述网表文件中，其中所述网表文件预先根据对应模型的真实测点构建；依据测量点进行划分，每个尺寸均包含多组不同的曲线。

由于采用 nanospice 仿真器，故而需要一个网表来定义具体电路情况以及具体的测量情况。在生成仿真网表中时，根据一组代工厂的真实测量点构建相应的网表文件。选取 9 个不同尺寸的器件：

表 2 尺寸表

w (μm)	0.072	0.072	0.072	0.27	0.27	0.27	0.9	0.9	0.9
l (μm)	0.0264	0.084	0.903	0.0264	0.084	0.903	0.903	0.0264	0.084

依据测量点进行划分，每个尺寸均包含 7 组不同的曲线：

表 3 测量点情况表

序号	扫描电压	起始 (V)	结束 (V)	总点数	输出	偏压 1	偏压 1 取值(V)	偏压 2	偏压 2 取值 (V)
0	Vgs	0	-0.9	61	Id	Vbs	0,0.16,0.33,0.49,0.64,0.8	Vds	-0.05
1	Vgs	0	-0.9	61	Id	Vbs	0,0.16,0.33,0.49,0.64,0.8	Vds	-0.8
2	Vgs	0	-0.9	61	Id	Vbs	0,0.16,0.33,0.49,0.64,0.8	Vds	-0.45

WO 2025/124166					PCT/CN2024/135598				
3	Vds	0	-0.8	54	Id	Vgs	-0.3,-0.42,-0.55,-0.68,-0.8,-0.9	Vbs	0
4	Vds	0	-0.8	54	Id	Vgs	-0.3,-0.42,-0.55,-0.68,-0.8,-0.9	Vbs	0.8
5	Vgs	0.3	-0.9	25	Id	Vbs	0.16,0.33,0.49,0.64,0.8	Vds	-0.8
6	Vgs	0.3	-0.9	25	Id	Vbs	0.16,0.33,0.49,0.64,0.8	Vds	-0.9

将随机生成的参数以及基于 nanospice 仿真器的仿真电阻、电容结果写入预先配置的网表文件中，优选的本发明是基于 tensorflow 完成，故而待一个模型卡对应的仿真全部完成后，借助一个解析模块，将仿真的结果转译成 tfrecord 格式用于存储，以便训练网络。仿真器运行 CPU 主频为 3.6GHz。

优选的，对所述多个参数基于各自的可调边界进行归一化处理进一步包括：当采取标准平均分布随机方法对参数进行归一化处理时，基于每个参数的所述可调边界的上限和下限进行归一化处理，处理结果处于 0~1 之间；当采取取对数后的平均分布进行随机方法对参数进行归一化处理时，先将参数值取对数、每个参数的所述可调边界的上限和下限也取对数，进而基于值的对数、上限的对数以及下限的对数进行归一化处理，处理结果处于 0~1 之间。

本实施例的技术方案对每个参数进行归一化处理，能够使得后续模型的参数处理更加便捷，避免模型额外处理复杂的数据，提高数据处理的准确性，降低模型出现故障的可能性。

优选的，所述方法还包括：在采取标准平均分布随机或是取对数后的平均分布进行随机以得到所述多个参数的多组数值之后，基于设定的可调边界以及物理事实进行初步筛选以预防所述仿真器出错。

由于采用 nanospice 仿真器，故而需要一个网表来定义具体电路情况以及具体的测量情况。因为随机参数组合起来可能会违反物理事实，比如有效长度不能小于 0。故而需要进行一步初筛，依据一些判据，跳过必然有问题的模型卡，以减少仿真器出错，降低仿真数据生成时间。

优选的，将归一化处理后的多个参数的数据输入预先配置的所述深度学习模型中以训练所述深度学习模型之前还包括：通过解析模块将 nanospice 仿真器仿真的结果转译成 tfrecord 格式用于存储，以便于训练网络。

优选的，将归一化处理后的多个参数的数据输入预先配置的仿真器中以训练所述深度学习模型进一步还包括：采用了 tensorflow.keras 库中的 Model 类的 fit 方法，训练集与验证集比例为 6:1，每批的样本数量为 600；采用 Adam 作为优化器，学习率为 $1e-3$ ，以电流、电容作为输出，损失函数选用 Mean Squared Logarithmic Error。

优选的，在对模型进行训练之前，先要进行深度学习模型的搭建，参见图 2，示出了一个实施例中深度学习神经网络模型的示意图。该神经网络以 14 个模型参数为输入；网络采用反卷积网络，也即由几层全连接层和几层反卷积层构成；然后通过反卷积计算得到 6 条 61 个点的曲线数据。训练样本为 50 万仿真曲线。训练采用了 tensorflow.keras 库中的 Model 类的 fit 方法。样本数量为 45 万，训练集与验证集比例为 6:1，每批的样本数量为 600。采用 Adam 作为优化器，学习率为 $1e-3$ 。以电流电容作为输出，损失函数选用 Mean Squared Logarithmic Error。经过训练，参见图 3，对于仿真曲线的拟合平均误差在 1%。

第二实施例

基于相同的构思，本发明还提供一种基于深度学习的模型仿真预测系统，包括：参数确定模块，用于确定所述模型仿真所需的多个参数，针对每个参数设定可调边界；预处理模块，用于调用 nanospice 仿真器获取所述多个参数的多组数据，对所述多个参数基于各自的可调边界进行归一化处理；模型训练模块，用于将归一化处理后的多个参数的数据输入预先配置的深度学习模型中以训练所述深度学习模型；结果预测模块，用于获取当前需要仿真预测模型的参数输入训练之后的所述深度学习模型进行预测以获取预测结果。

本实施例的技术方案中，通过随机自动生成多个参数的多组数据，进行预处理，基于预处理之后的数据以及调用 nanospice 仿真器仿真得到的电阻、电容仿真结果输入深度学习模型对其进行训练，从而实现基于深度学习模型对电阻、电容数据进行仿真预测，通过神经网络训练和预测不同参数下电流、

电容随 bias 变化曲线，提高仿真预测效率。

第三实施例

基于相同的构思，本发明还提供一种电子设备，其特征在于，包括：存储器，所述存储器用于存储处理程序；处理器，所述处理器执行所述处理程序时实现上述任意一项所述的基于深度学习的模型仿真预测方法。

基于相同的构思，本发明还提供一种可读存储介质，其特征在于，所述可读存储介质上存储有处理程序，所述处理程序被处理器执行时实现上述任意一项所述的基于深度学习的模型仿真预测方法。

基于深度学习的模型仿真预测方法如果以程序指令的形式实现并作为独立的产品销售或使用，可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解，本实施例的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分或者该技术方案的全部或部分可以以软件的形式体现出来，该计算机软件存储在一个存储介质中，包括若干指令用以使得一台计算机设备（可以是个人计算机，服务器，或者网络设备）执行本公开各个实施例所述方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括：U 盘、移动硬盘、只读存储器（Read-only memory, ROM）、随机存取存储器（Random access memory, RAM）、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

所属领域的技术人员可以清楚地了解到，为描述得方便和简洁，上述描述的系统及设备的具体执行的识别内容，可以参考前述方法实施例中的对应过程。

上面结合附图对本发明的实施方式作了详细说明，但是本发明并不限于上述实施方式。即使对本发明作出各种变化，倘若这些变化属于本发明权利要求及其等同技术的范围之内，则仍落入在本发明的保护范围之内。

权利要求书

1、一种基于深度学习的模型仿真预测方法，其特征在于，包括以下步骤：

确定所述模型仿真所需的多个参数，针对每个参数设定可调边界；

调用 nanospice 仿真器获取所述多个参数的多组数据，对所述多个参数基于各自的可调边界进行归一化处理；

将归一化处理后的多个参数的数据输入预先配置的深度学习模型中以训练所述深度学习模型；

获取当前需要仿真预测模型的参数输入训练之后的所述深度学习模型进行预测以获取预测结果。

2、根据权利要求1所述的基于深度学习的模型仿真预测方法，其特征在于，确定所述模型仿真所需的多个参数，针对每个参数设定可调边界进一步包括：

基于历史真实工程经验确定所述多个参数，包括：k2、u0、ua、eu、uc、vsat、a1、a2、nfactor、eta0、etab、pclm、pdiblc、ndep；

采取标准平均分布随机或是取对数后的平均分布进行随机以得到所述多个参数的多组数值；

基于所述多个参数的多组数值替换预设模型卡中的对应数值。

3、根据权利要求2所述的基于深度学习的模型仿真预测方法，其特征在于，在对所述多个参数基于各自的可调边界进行归一化处理之前所述方法还包括：

基于预先构建的网表文件将所述多个参数的多组数值数据写入所述网表文件中，其中所述网表文件预先根据对应模型的真实测点构建；

依据测量点进行划分，每个尺寸均包含多组不同的曲线。

4、根据权利要求1所述的基于深度学习的模型仿真预测方法，其特征在于，对所述多个参数基于各自的可调边界进行归一化处理进一步包括：

当采取标准平均分布随机方法对参数进行归一化处理时，基于每个参数

的所述可调边界的上限和下限进行归一化处理，处理结果处于 0~1 之间；

当采取取对数后的平均分布进行随机方法对参数进行归一化处理时，先将参数值取对数、每个参数的所述可调边界的上限和下限也取对数，进而基于值的对数、上限的对数以及下限的对数进行归一化处理，处理结果处于 0~1 之间。

5、根据权利要求 2 所述的基于深度学习的模型仿真预测方法，其特征在于，所述方法还包括：在采取标准平均分布随机或是取对数后的平均分布进行随机以得到所述多个参数的多组数值之后，基于设定的可调边界以及物理事实进行初步筛选以预防所述仿真器出错。

6、根据权利要求 5 所述的基于深度学习的模型仿真预测方法，其特征在于，将归一化处理后的多个参数的数据输入预先配置的所述深度学习模型中以训练所述深度学习模型之前还包括：

通过解析模块将 nanospice 仿真器仿真的结果转译成 tfrecord 格式用于存储，以便于训练网络。

7、根据权利要求 6 所述的基于深度学习的模型仿真预测方法，其特征在于，将归一化处理后的多个参数的数据输入预先配置的仿真器中以训练所述深度学习模型进一步还包括：

采用了 tensorflow.keras 库中的 Model 类的 fit 方法，训练集与验证集比例为 6:1，每批的样本数量为 600；

采用 Adam 作为优化器，学习率为 1e-3，以电流、电容作为输出，损失函数选用 Mean Squared Logarithmic Error。

8、一种基于深度学习的模型仿真预测系统，其特征在于，包括：

参数确定模块，用于确定所述模型仿真所需的多个参数，针对每个参数设定可调边界；

预处理模块，用于调用 nanospice 仿真器获取所述多个参数的多组数据，对所述多个参数基于各自的可调边界进行归一化处理；

模型训练模块，用于将归一化处理后的多个参数的数据输入预先配置的

深度学习模型中以训练所述深度学习模型；

结果预测模块，用于获取当前需要仿真预测模型的参数输入训练之后的所述深度学习模型进行预测以获取预测结果。

9、一种电子设备，其特征在于，包括：

存储器，所述存储器用于存储处理程序；

处理器，所述处理器执行所述处理程序时实现如权利要求 1 至 7 中任意一项所述的基于深度学习的模型仿真预测方法。

10、一种可读存储介质，其特征在于，所述可读存储介质上存储有处理程序，所述处理程序被处理器执行时实现如权利要求 1 至 7 中任意一项所述的基于深度学习的模型仿真预测方法。

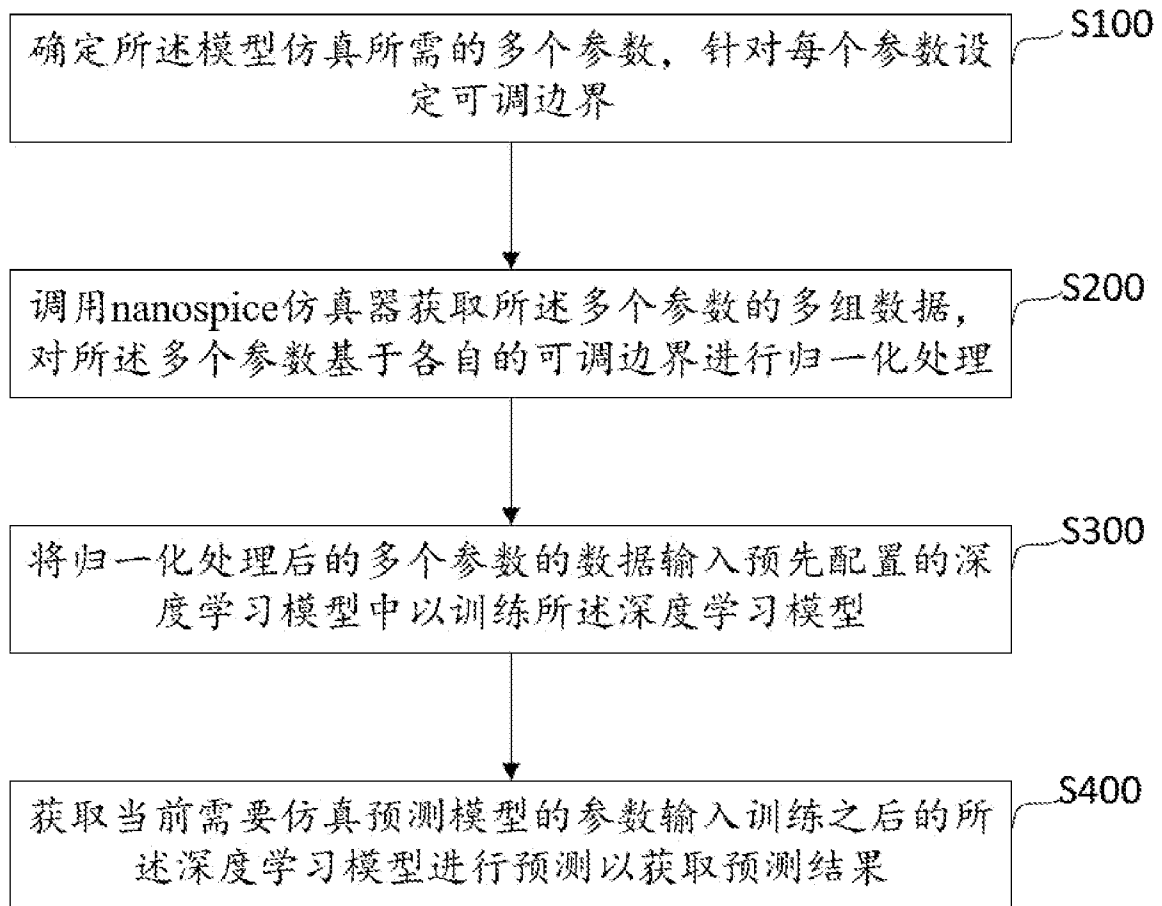


图 1

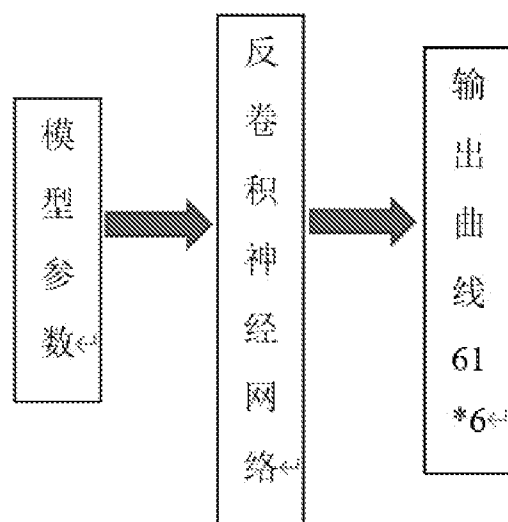


图 2

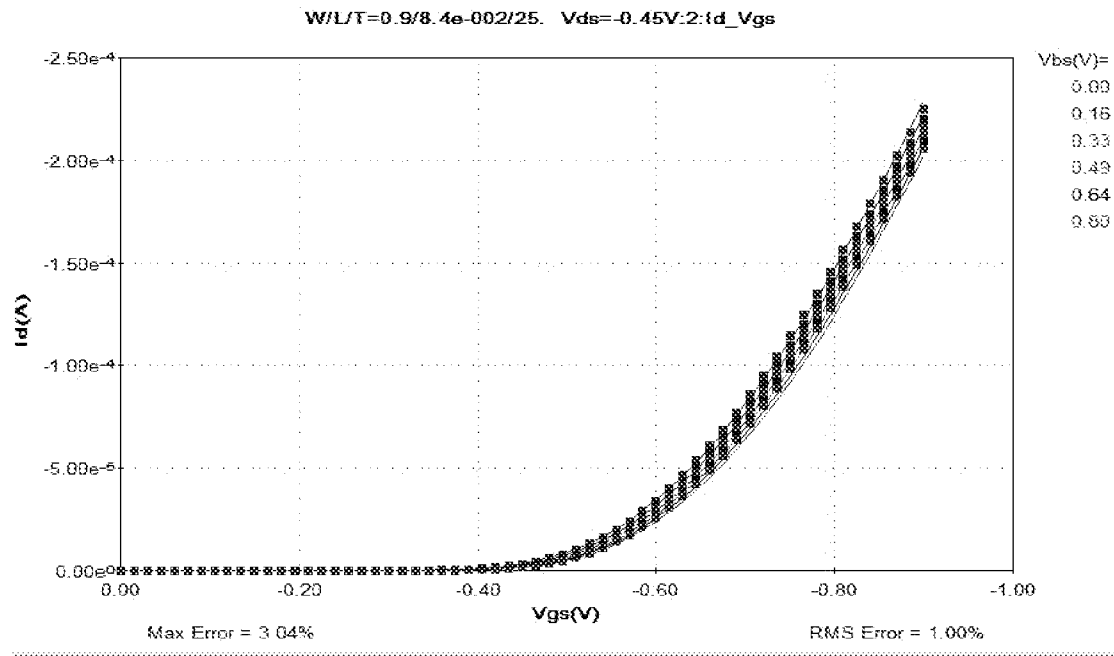


图 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2024/135598

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G06F30/3308(2020.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC:G06F30/- Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) CJFD, CNTXT, CNABS, VEN, ENTXTC, CNKI, 互联网, Internet: 深度学习, 神经网络, 性能, 特性, 电压, 电容, 电流, 预测, 模型, 仿真, 仿真器, 参数, 归一化, 半导体, 训练, SPICE, semiconductor, model, simulate, data, characteristics, predict, deep learning, neural network, current, capacitance.		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 117807929 A (PRIMARIUS TECHNOLOGIES CO., LTD.) 02 April 2024 (2024-04-02) claims 1-10	1-10
Y	CN 115983166 A (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 18 April 2023 (2023-04-18) description, paragraphs 28-152	1-10
Y	CN 116151174 A (SICHUAN HUADUN DEFENSE TECHNOLOGY CO., LTD.) 23 May 2023 (2023-05-23) description, paragraphs 23-56	1-10
A	CN 114997092 A (NANJING UNIVERSITY OF POSTS AND TELECOMMUNICATIONS et al.) 02 September 2022 (2022-09-02) entire document	1-10
A	CN 117093847 A (PRIMARIUS TECHNOLOGIES CO., LTD.) 21 November 2023 (2023-11-21) entire document	1-10
A	US 2023125401 A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 27 April 2023 (2023-04-27) entire document	1-10
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: “A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance “D” document cited by the applicant in the international application “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed “T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art “&” document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 08 February 2025		Date of mailing of the international search report 11 February 2025
Name and mailing address of the ISA/CN China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2024/135598

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	117807929	A	02 April 2024	None			
CN	115983166	A	18 April 2023	US	2023113207	A1	13 April 2023
				KR	20230052450	A	20 April 2023
CN	116151174	A	23 May 2023	None			
CN	114997092	A	02 September 2022	None			
CN	117093847	A	21 November 2023	None			
US	2023125401	A1	27 April 2023	KR	20230057673	A	02 May 2023
				CN	116029193	A	28 April 2023

A. 主题的分类

G06F30/3308(2020.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC:G06F30/-

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CJFD,CNTEXT,CNABS,VEN,ENTXTC,CNKI,互联网:深度学习, 神经网络, 性能, 特性, 电压, 电容, 电流, 预测, 模型, 仿真, 仿真器, 参数, 归一化, 半导体,训练, SPICE,semiconductor, model, simulate,data,characteristics,predict, deep learning,neural network,current,capacitance.

C. 相关文件

类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 117807929 A (上海概伦电子股份有限公司) 2024年4月2日 (2024 - 04 - 02) 权利要求1-10	1-10
Y	CN 115983166 A (三星电子株式会社) 2023年4月18日 (2023 - 04 - 18) 说明书28-152段	1-10
Y	CN 116151174 A (四川省华盾防务科技股份有限公司) 2023年5月23日 (2023 - 05 - 23) 说明书23-56段	1-10
A	CN 114997092 A (南京邮电大学等) 2022年9月2日 (2022 - 09 - 02) 全文	1-10
A	CN 117093847 A (上海概伦电子股份有限公司) 2023年11月21日 (2023 - 11 - 21) 全文	1-10
A	US 2023125401 A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 2023年4月27日 (2023 - 04 - 27) 全文	1-10

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“D” 申请人在国际申请中引证的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2025年2月8日

国际检索报告邮寄日期

2025年2月11日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

授权官员

易建琼

电话号码 (+86) 028-62967650

PCT/ISA/210 表(第2页) (2022年7月)

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2024/135598

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	117807929	A	2024年4月2日	无			
CN	115983166	A	2023年4月18日	US	2023113207	A1	2023年4月13日
				KR	20230052450	A	2023年4月20日
CN	116151174	A	2023年5月23日	无			
CN	114997092	A	2022年9月2日	无			
CN	117093847	A	2023年11月21日	无			
US	2023125401	A1	2023年4月27日	KR	20230057673	A	2023年5月2日
				CN	116029193	A	2023年4月28日