

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年5月31日(31.05.2018)



(10) 国際公開番号

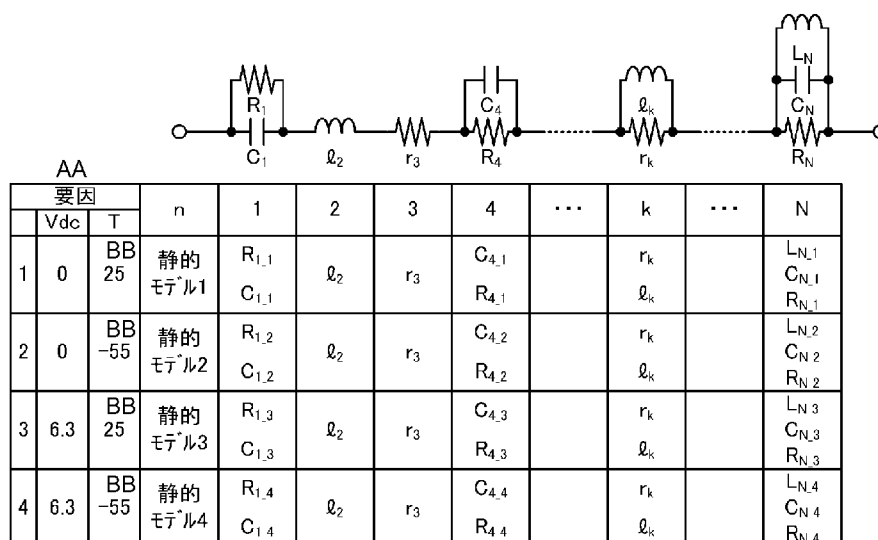
WO 2018/096766 A1

- (51) 国際特許分類:
G06F 17/50 (2006.01) *H01G 13/00* (2013.01)
H01F 41/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/032742
- (22) 国際出願日: 2017年9月12日(12.09.2017)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2016-227792 2016年11月24日(24.11.2016) JP
- (71) 出願人: 株式会社村田製作所
(MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) [JP/
JP]; 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1
丁目 10 番 1 号 Kyoto (JP).
- (72) 発明者: 日 ▲ 高 ▼ 青 路 (HIDAKA, Seiji);
〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 10 番
1 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP). 三船
洋嗣(MIFUNE, Hiroshi); 〒6178555 京都府長岡
京市東神足 1 丁目 10 番 1 号 株式会社村田
製作所内 Kyoto (JP). 五嶋 制二(GOTO, Seiji);
〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 10 番
1 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP).
- (74) 代理人: 稲葉 良幸, 外(INABA, Yoshiyuki et al.);
〒1066123 東京都港区六本木 6 - 10 -
1 六本木ヒルズ森タワー 23 階 T M I
総合法律事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ,
BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,

(54) Title: CIRCUIT SIMULATION METHOD AND CIRCUIT SIMULATION DEVICE

(54) 発明の名称: 回路シミュレーション方法及び回路シミュレーション装置

[図5]



AA... FACTOR
BB... STATIC MODEL

(57) Abstract: The present invention reduces a calculation time when executing circuit simulation using a dynamic model. A computer calculating the characteristic of a passive circuit element when the operating condition is a specific operating condition from a dynamic model with which it is possible to simulate a characteristic that corresponds to the operating condition of a passive circuit element that represents an equivalent circuit element and generating a static model, and simulating the characteristic of a circuit element when the operating condition is a specific operating condition using the static model.

DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, 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).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告(条約第21条(3))

(57) 要約: 動的モデルを用いた回路シミュレーション実行時の計算時間を短縮する。コンピュータが、回路素子の等価回路を表す受動回路素子の動作条件に応じた特性をシミュレート可能な動的モデルから、動作条件が特定の動作条件の場合における受動回路素子の特性を算出して静的モデルを生成し、静的モデルを用いて、動作条件が特定の動作条件の場合における回路素子の特性をシミュレートする。

明 細 書

発明の名称：

回路シミュレーション方法及び回路シミュレーション装置

技術分野

[0001] 本発明は、回路シミュレーション方法及び回路シミュレーション装置に関する。

背景技術

[0002] 受動回路素子により表された等価回路を用いてコンデンサやインダクタの特性をシミュレートする手法が知られている（例えば、特許文献 1 及び 2）。

[0003] 例えば、特許文献 1 には、実測値をもとに電圧を変数として表された近似関数により算出される直流電圧印加時における受動回路素子の特性変化率に基づいて、直流電圧印加時のコンデンサの非線形特性をシミュレーションするための動的モデルが開示されている。また例えば、特許文献 2 には、実測値をもとに電流を変数として表された近似関数により算出される直流電流重畳時における受動回路素子の特性変化率に基づいて、直流電流重畳時のインダクタの非線形特性をシミュレーションするための動的モデルが開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特許第 5 7 7 3 1 0 1 号明細書
特許文献2：特許第 5 7 7 3 1 0 2 号明細書

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 特許文献 1 及び 2 に開示されている手法では、シミュレーションを実行する際に、直流電圧や直流電流等の動作条件に応じて、動的モデルから受動回路素子の特性（素子値）を計算している。これにより、コンデンサやインダ

クタの非線形特性のシミュレーションが可能となるが、動作条件に応じて動的モデルから受動回路素子の特性を計算する必要があるため、シミュレーションの計算時間が増大することとなる。

[0006] 本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであり、動的モデルを用いた回路シミュレーション実行時の計算時間を短縮することが可能な回路シミュレーション方法及び回路シミュレーション装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明の一態様に係る回路シミュレーション方法は、コンピュータが、回路素子の等価回路を表す受動回路素子の動作条件に応じた特性をシミュレート可能な動的モデルから、動作条件が特定の動作条件の場合における受動回路素子の特性を算出して静的モデルを生成し、静的モデルを用いて、動作条件が特定の動作条件の場合における回路素子の特性をシミュレートする。

[0008] また、本発明の一態様に係る回路シミュレーション装置は、回路素子の等価回路を表す受動回路素子の動作条件に応じた特性をシミュレート可能な動的モデルを記憶する動的モデル記憶部と、動的モデルから、動作条件が特定の動作条件の場合における受動回路素子の特性を算出して静的モデルを生成する静的モデル生成部と、生成された静的モデルを用いて、動作条件が特定の動作条件の場合における回路素子の特性をシミュレートするシミュレーション実行部と、を備える。

発明の効果

[0009] 本発明によれば、動的モデルを用いた回路シミュレーション実行時の計算時間を短縮することが可能な回路シミュレーション方法及び回路シミュレーション装置を提供することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]本発明の一実施形態である回路シミュレーション装置100の構成を示す図である。

[図2]動的モデルの機能ブロックの一例を示す図である。

[図3]コンデンサの動的モデルの一例を示す図である。

[図4]インダクタの動的モデルの一例を示す図である。

[図5]図3に示した動的モデルから生成された静的モデルの例を示す図である。

[図6]図4に示した動的モデルから生成された静的モデルの例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0011] 以下、図面を参照して本発明の一実施形態について説明する。図1は、本発明の一実施形態である回路シミュレーション装置100の構成を示す図である。回路シミュレーション装置100は、動的モデル記憶部110、静的モデル生成部120、静的モデル記憶部130及びシミュレーション実行部140を備える。

[0012] 動的モデル記憶部110は、コンデンサ及びインダクタの動的モデルである動的モデルを記憶する。動的モデルは、例えば、回路シミュレーション装置100に適した形式のデータとして電子部品メーカーから提供され、動的モデル記憶部110に格納される。動的モデルは、コンデンサ及びインダクタの特性に影響を与える1以上の要因（動作条件）を考慮したものである。要因は、例えば、温度、DCバイアス（直流電圧又は直流電流）、AC振幅（交流電圧又は交流電流）、特性ばらつき等である。なお、本実施形態では、コンデンサ及びインダクタの動的モデルを例として説明するが、動的モデルはコンデンサ又はインダクタ以外の回路素子の特性をシミュレートするものであってもよい。

[0013] 静的モデル生成部120は、動的モデル記憶部110に格納されている動的モデルから、動的モデルで考慮される要因が特定の値（特定の動作条件）の場合における受動回路素子の特性を算出して静的モデルを生成し、静的モデル記憶部130に格納する。静的モデルの生成は、シミュレーション実行前の準備として事前に実行される。なお、静的モデルを生成する際の特定の値（特定の動作条件）は、ユーザから入力されてもよいし、回路シミュレー

ション装置１００において予め定められていてもよい。また、静的モデルの生成タイミングは、ユーザから指示されてもよいし、静的モデル生成部１２０が決定してもよい。例えば、動的モデルが動的モデル記憶部１１０に格納される際に、静的モデルの生成有無及び静的モデルを生成する際の要因の値がユーザから入力されてもよい。

[0014] シミュレーション実行部１４０は、静的モデル記憶部１３０に格納されている線形モデルを用いて、特定の動作条件に応じたコンデンサ又はインダクタの非線形特性をシミュレートする。また、シミュレーションを行いたい動作条件に対応する静的モデルが静的モデル記憶部１３０に格納されていない場合が考えられる。このような場合、シミュレーション実行部１４０は、静的モデルを用いることなく、動的モデル記憶部１１０に格納されている動的モデルを用いて、当該動作条件に応じたコンデンサ又はインダクタの非線形特性をシミュレートしてもよい。

[0015] 図２は、動的モデルの機能ブロックの一例を示す図である。図２に示すように、動的モデル２００は、受動回路素子２１０、要因特定部２２０、特性情報記憶部２３０及び制御素子２４０を備える。

[0016] 受動回路素子２１０は、コンデンサ又はインダクタの等価回路を表す素子であり、例えば、抵抗素子、容量素子及びインダクタンス素子を含む。

[0017] 要因特定部２２０は、コンデンサ又はインダクタの特性に影響を与える複数の要因の値を特定する。要因特定部２２０は、例えば、ユーザ入力によって要因の値を特定することができる。また、要因特定部２２０は、例えば、回路シミュレーション装置１００に入力された回路図から、ＤＣバイアスやＡＣ振幅等の値を特定してもよい。

[0018] 特性情報記憶部２３０は、複数の要因の取り得る値と受動回路素子の特性との対応関係を示す特性情報を記憶する。特性情報は、例えば、複数の要因を変数とする受動回路素子の特性の関数である。具体的には、関数は、例えば、複数の要因の変化に応じた受動回路素子の特性の実測値に基づいて生成された、受動回路素子の特性の変化率の近似関数である。近似関数の詳細に

については後述する。

[0019] 制御素子 240 は、複数の要因に応じて変化する受動回路素子の特性を考慮するための素子である。具体的には、制御素子 240 は、例えば、複数の要因が特定された値の場合に受動回路素子に流れる特性電流と、複数の要因が所定の値（初期値）の場合に受動回路素子に流れる初期電流との差分電流を生成する電流源である。また、制御素子 240 は、例えば、複数の要因が特定された値の場合に受動回路素子に生じる特性電圧と、複数の要因が所定の値（初期値）の場合に受動回路素子に生じる初期電圧との差分電圧を生成する電圧源である。

[0020] 図 3 は、コンデンサの動的モデルの一例を示す図である。図 3 に示すように、コンデンサの動的モデルは、受動回路素子（抵抗素子 R 、容量素子 C 及びインダクタンス素子 L ）によって表される、コンデンサの等価回路 300 を備える。また、コンデンサの動的モデルは、要因に応じて特性が変化する受動回路素子に並列に接続される電流源 I （制御素子）を備える。なお、図 3 において、 n （ $1 \cdots N$ ）は、素子位置を示している。各素子には、素子位置が添え字として付されている。例えば、素子位置 $n = 1$ の容量素子、抵抗素子及び電流源は、 C_1 、 R_1 及び I_1 と表されている。なお、要因に応じて特性が変化しない受動回路素子は、小文字（ c 、 r 及び l （エル））で表されている。

[0021] コンデンサの動的モデルにおいて、電流源 I は、要因が特定された値の場合に受動回路素子に流れる特性電流と初期電流との差分電流を生成する。例えば、電流源 I_1 は、要因が特定された値の場合に容量素子 C_1 を流れる電流と抵抗素子 R_1 を流れる電流との合計（特性電流）と、要因が初期値の場合に容量素子 C_1 を流れる電流と抵抗素子 R_1 を流れる電流との合計（初期電流）との差分電流を生成する。このように、電流源 I によって生成された差分電流を初期電流に加算することにより、要因に応じたコンデンサの非線形特性がシミュレートされる。

[0022] 図 4 は、インダクタの動的モデルの一例を示す図である。図 4 に示すよう

に、インダクタの動的モデルは、受動回路素子（抵抗素子 R 、容量素子 C 及びインダクタンス素子 L ）によって表される、インダクタの等価回路400を備える。また、インダクタの動的モデルは、要因に応じて特性が変化する受動回路素子に直列に接続される電圧源 V （制御素子）を備える。なお、図4において、 n （ $1 \cdots N$ ）は、素子位置を示している。各素子には、素子位置が添え字として付されている。例えば、素子位置 $n=1$ の抵抗素子、インダクタンス素子及び電圧源は、 R_1 、 L_1 及び V_1 と表されている。なお、要因に応じて特性が変化しない受動回路素子は、小文字（ c 、 r 及び l （エル））で表されている。

[0023] インダクタの動的モデルにおいて、電圧源 V は、要因が特定された値の場合に受動回路素子に生じる特性電圧と初期電圧との差分電圧を生成する。例えば、電圧源 V_1 は、要因が特定された値の場合に抵抗素子 R_1 に生じる電圧とインダクタンス素子 L_1 に生じる電圧との合計（特性電圧）と、要因が初期値の場合に抵抗素子 R_1 に生じる電圧とインダクタンス素子 L_1 に生じる電圧との合計（初期電圧）との差分電圧を生成する。このように、電圧源 V によって生成された差分電圧を初期電圧に加算することにより、複数の要因に応じたインダクタの非線形特性がシミュレートされる。

[0024] 特性情報記憶部230に記憶される特性情報である、受動回路素子の特性の変化率の近似関数の一例について説明する。

[0025] 複数の要因を $x_1, x_2, \dots$ 、素子位置 n の抵抗素子、複数の要因に応じた容量素子及びインダクタンス素子の特性をそれぞれ R_n, C_n 及び L_n 、複数の要因が初期値の場合の容量素子及びインダクタンス素子の特性をそれぞれ R_{0n}, C_{0n} 及び L_{0n} とすると、特性の変化率は以下の式（1）～（3）により表される。

[数1]

$$\frac{\Delta R_n}{R_n} = \frac{R_n(x_1, x_2, \dots)}{R_{0n}} - 1 \quad \dots (1)$$

[数2]

$$\frac{\Delta C_n}{C_n} = \frac{C_n(x_1, x_2, \dots)}{C_{0n}} - 1 \quad \dots (2)$$

[数3]

$$\frac{\Delta L_n}{L_n} = \frac{L_n(x_1, x_2, \dots)}{L_{0n}} - 1 \quad \dots (3)$$

[0026] 式(1)～(3)の第1項は、全ての変数($x_1, x_2, \dots$)が初期値と一致する場合に1となり、変化率はゼロとなる。

[0027] ここで、説明を簡単にするために、要因を2つの変数 x_1, x_2 とし、それらの初期値を x_{10}, x_{20} として説明する。例えば、 x_1 は温度、 x_2 は直流電圧(又は直流電流)、 x_{10} は25℃、 x_{20} は0V(又は0A)である。この場合、式(1)～(3)は、以下の式(4)～(6)に簡略化される。

[数4]

$$\frac{\Delta R_n}{R_n} = \frac{R_n(x_1, x_2)}{R_{0n}} - 1 \quad \dots (4)$$

[数5]

$$\frac{\Delta C_n}{C_n} = \frac{C_n(x_1, x_2)}{C_{0n}} - 1 \quad \dots (5)$$

[数6]

$$\frac{\Delta L_n}{L_n} = \frac{L_n(x_1, x_2)}{L_{0n}} - 1 \quad \dots (6)$$

[0028] 式(4)～(6)の第1項を以下の式(7)～(9)で定義する。

[数7]

$$k_{Rn}(x_1, x_2) = \frac{R_n(x_1, x_2)}{R_{0n}} \quad \dots (7)$$

[数8]

$$k_{Cn}(x_1, x_2) = \frac{C_n(x_1, x_2)}{C_{0n}} \quad \dots (8)$$

[数9]

$$k_{Ln}(x_1, x_2) = \frac{L_n(x_1, x_2)}{L_{0n}} \quad \dots (9)$$

[0029] 式(7)～(9)をまとめて説明するために、以下では、式(7)～(9)を単純に $k(x_1, x_2)$ と表す。関数 $k(x_1, x_2)$ は、2つの変数 (x_1, x_2) が初期値 (x_{10}, x_{20}) となる場合に1となり、また、受動回路素子の特性は常に正であるから、以下の式(10)で定義される。

[数10]

$$k(x_1, x_2) = \exp[f(x_1, x_2)] \quad \dots (10)$$

[0030] 関数 $f(x_1, x_2)$ は、2つの変数 (x_1, x_2) が初期値 (x_{10}, x_{20}) となる場合にゼロとなる。関数 $f(x_1, x_2)$ は、例えば、べき乗による展開により、以下の式(11)で表される。

[数11]

$$\begin{aligned} f(x_1, x_2) = & b_{10} \cdot (x_1 - x_{10}) \\ & + b_{01} \cdot (x_2 - x_{20}) \\ & + b_{11} \cdot (x_1 - x_{10}) \cdot (x_2 - x_{20}) \\ & + \dots + b_{n_1, n_2} \cdot (x_1 - x_{10})^{n_1} \cdot (x_2 - x_{20})^{n_2} \quad \dots (11) \end{aligned}$$

[0031] 式(11)において、 $b_{10}, b_{01}, \dots, b_{n_1, n_2}$ は実数の展開係数であり、 n_1, n_2 はそれぞれ x_1, x_2 の最大次数である。

[0032] また、関数 $f(x_1, x_2)$ は、収束性の改善を目的として、基底関数 $g_{ij}(x_1, x_2)$ を用いた展開により、以下の式(12)で表すこともできる。

[数12]

$$\begin{aligned}
 f(x_1, x_2) = & b_{10} \cdot g_{10}(x_1, x_2) \\
 & + b_{01} \cdot g_{01}(x_1, x_2) \\
 & + b_{11} \cdot g_{11}(x_1, x_2) \\
 & + \cdots + b_{mn} \cdot g_{mn}(x_1, x_2) \quad \dots (12)
 \end{aligned}$$

[0033] ここで、 b_{10} , b_{01} , $\dots$, b_{mn} は、基底関数の展開係数である。基底関数を以下の式(13)で定義すると、べき乗により展開した式(11)に一致する。

[数13]

$$g_{ij}(x_1, x_2) = (x_1 - x_{10})^i \cdot (x_2 - x_{20})^j \quad \dots (13)$$

[0034] 基底関数 $g_{ij}(x_1, x_2)$ を以下の式(14)～(17)で定義すると、変数 (x_1, x_2) に大きな値が入力された場合も有限な定数となるため、計算の収束性において有効である。

[数14]

$$g_{i0}(x_1, x_2) = \frac{x_1 - x_{10}}{x_1 + c_{1,i0}} \quad \dots (14)$$

[数15]

$$g_{0j}(x_1, x_2) = \frac{x_2 - x_{20}}{x_2 + c_{2,0j}} \quad \dots (15)$$

[数16]

$$g_{ij}(x_1, x_2) = \frac{x_1 - x_{10}}{x_1 + c_{1,ij}} \cdot \frac{x_2 - x_{20}}{x_2 + c_{2,ij}} \quad \dots (16)$$

[数17]

$$\lim_{x_1 \rightarrow \infty} \lim_{x_2 \rightarrow \infty} [g_{ij}(x_1, x_2)] = 1 \quad \dots (17)$$

[0035] ここで、 $c_{1,ij}$, $c_{2,ij}$ は、次数 (i, j) が異なる基底関数を互いに一次独立とするための定数である。

[0036] 図5は、図3に示した動的モデルから生成された静的モデルの例を示す図

である。静的モデル生成部 120 は、動的モデル記憶部 110 に格納された動的モデルに基づいて、動的モデルで考慮される要因が特定の値の場合における静的モデルを生成する。具体的には、静的モデル生成部 120 は、特性情報記憶部 230 に格納されている特性情報（関数）に基づいて、要因が特定の値の場合における受動回路素子の特性（素子値）を計算し、当該特性を有する静的モデルを生成する。

[0037] 図 5 に示す例では、直流電圧 V_{dc} (V) 及び温度 T (°C) の 2 つの要因が特定の値の場合における静的モデルが示されている。図 5 に示すように、静的モデル生成部 120 は、要因に応じて特性が変化する受動回路素子（図 3 に示す動的モデルにおいて電流源 I が並列接続されていた受動回路素子）の特性（素子値）を算出する。具体的には、例えば、直流電圧 $V_{dc} = 0$ V 及び温度 $T = 25$ °C（要因 1）の場合における抵抗素子 R_1 、容量素子 C_1 、容量素子 C_4 、抵抗素子 R_4 、インダクタンス素子 L_N 、容量素子 C_N 及び抵抗素子 R_N の特性は、 R_{11} 、 C_{11} 、 C_{41} 、 R_{41} 、 L_{N1} 、 C_{N1} 及び R_{N1} （実際はそれぞれ具体的な値）となっている。また例えば、直流電圧 $V_{dc} = 6.3$ V 及び温度 $T = 25$ °C（要因 3）の場合における抵抗素子 R_1 、容量素子 C_1 、容量素子 C_4 、抵抗素子 R_4 、インダクタンス素子 L_N 、容量素子 C_N 及び抵抗素子 R_N の特性は、 R_{13} 、 C_{13} 、 C_{43} 、 R_{43} 、 L_{N3} 、 C_{N3} 及び R_{N3} （実際はそれぞれ具体的な値）となっている。

[0038] 図 6 は、図 4 に示した動的モデルから生成された静的モデルの例を示す図である。静的モデル生成部 120 は、図 5 に示した例と同様に、動的モデル記憶部 110 に格納された動的モデルに基づいて、動的モデルで考慮される要因が特定の値の場合における静的モデルを生成する。具体的には、静的モデル生成部 120 は、要因に応じて特性が変化する受動回路素子（図 4 に示す動的モデルにおいて電圧源が直列接続されていた受動回路素子）の特性（素子値）を算出する。

[0039] 以上のように、本実施形態の回路シミュレーション装置 100 では、回路素子の等価回路を表す受動回路素子の動作条件に応じた特性をシミュレート

可能な動的モデルから、動作条件が特定の動作条件の場合における受動回路素子の特性を算出して静的モデルを予め生成しておくことができる。そして、実際にシミュレーションを実行する際には、動的モデルではなく、事前に生成された静的モデルを用いて、特定の動作条件の場合における回路素子の特性をシミュレートすることができる。これにより、シミュレーション実行時に、受動回路素子の特性を求めるための関数を計算する必要がないため、シミュレーション実行時の計算時間を短縮することが可能となる。

[0040] また、本実施形態の回路シミュレーション装置 100 では、複数の特定の動作条件のそれぞれに応じた複数の静的モデルを予め生成しておくことができる。これにより、様々な動作条件に応じたシミュレーションの計算時間を短縮することが可能となる。

[0041] 以上説明した各実施形態は、本発明の理解を容易にするためのものであり、本発明を限定して解釈するためのものではない。本発明は、その趣旨を逸脱することなく、変更／改良され得るとともに、本発明にはその等価物も含まれる。即ち、各実施形態に当業者が適宜設計変更を加えたものも、本発明の特徴を備えている限り、本発明の範囲に包含される。例えば、各実施形態が備える各要素およびその配置、材料、条件、形状、サイズなどは、例示したものに限定されるわけではなく適宜変更することができる。また、各実施形態が備える各要素は、技術的に可能な限りにおいて組み合わせることができ、これらを組み合わせたものも本発明の特徴を含む限り本発明の範囲に包含される。

符号の説明

[0042] 100

回路シミュレーション装置、110

動的モデル記憶部、120

静的モデル生成部、130

静的モデル記憶部、140

シミュレーション実行部、200

動的モデル、210

受動回路素子、220

要因特定部、230

特性情報記憶部、240

制御素子、300, 400

等価回路

請求の範囲

- [請求項1] コンピュータが、
- 回路素子の等価回路を表す受動回路素子の動作条件に応じた特性をシミュレート可能な動的モデルから、前記動作条件が特定の動作条件の場合における前記受動回路素子の特性を算出して静的モデルを生成し、
- 前記静的モデルを用いて、前記動作条件が前記特定の動作条件の場合における前記回路素子の特性をシミュレートする、
- 回路シミュレーション方法。
- [請求項2] 前記静的モデルを生成することは、複数の特定の動作条件のそれぞれに応じた、複数の静的モデルを生成することを含む、
- 請求項1に記載の回路シミュレーション方法。
- [請求項3] 回路素子の等価回路を表す受動回路素子の動作条件に応じた特性をシミュレート可能な動的モデルを記憶する動的モデル記憶部と、
- 前記動的モデルから、前記動作条件が特定の動作条件の場合における前記受動回路素子の特性を算出して静的モデルを生成する静的モデル生成部と、
- 前記生成された静的モデルを用いて、前記動作条件が前記特定の動作条件の場合における前記回路素子の特性をシミュレートするシミュレーション実行部と、
- を備える回路シミュレーション装置。
- [請求項4] 前記静的モデル生成部は、複数の特定の動作条件のそれぞれに応じた、複数の静的モデルを生成する、
- 請求項3に記載の回路シミュレーション装置。

[図1]

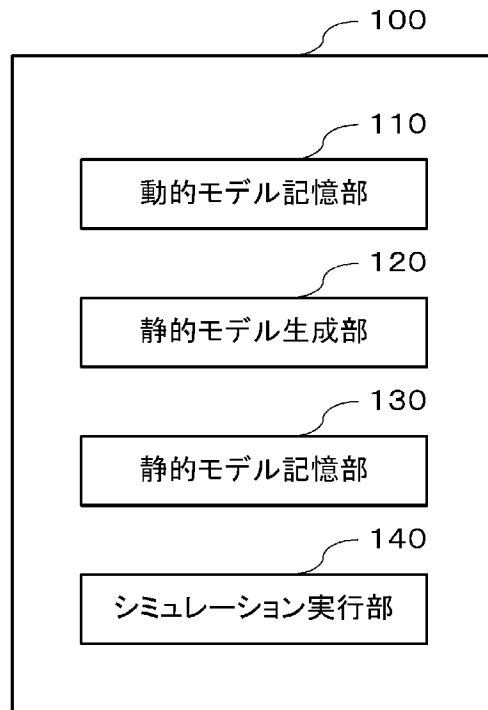


図1

[図2]

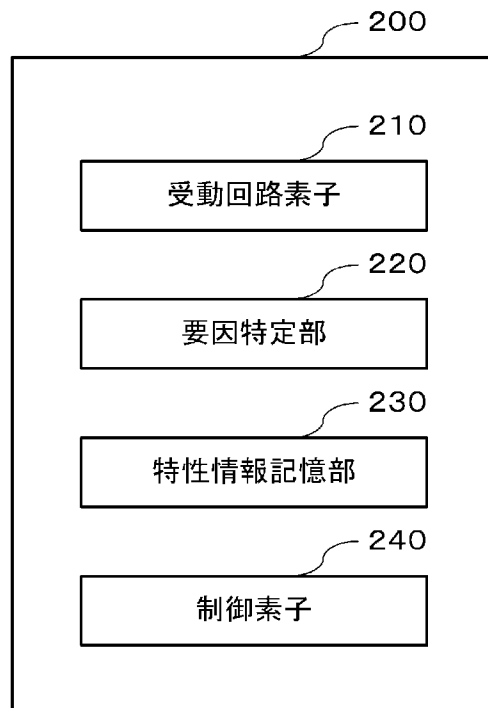


図2

[図3]

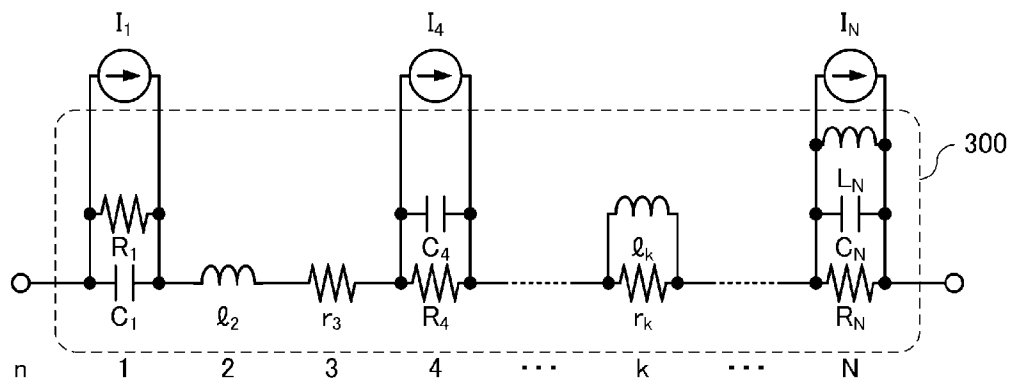


図3

[図4]

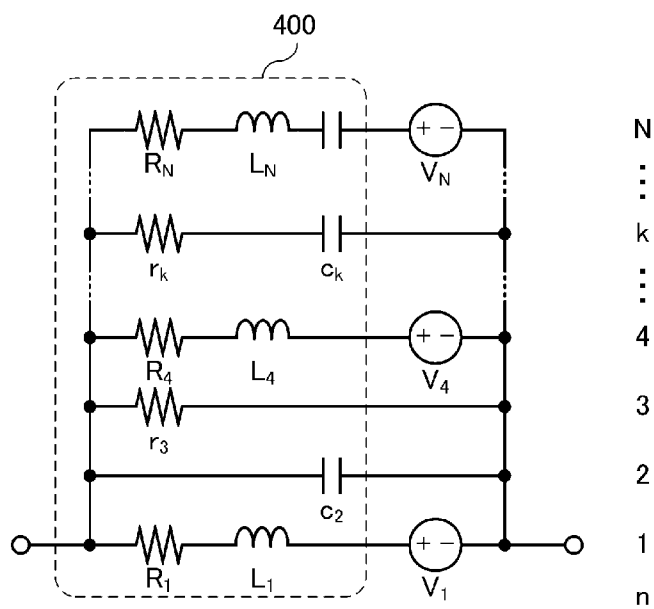


図4

[図5]

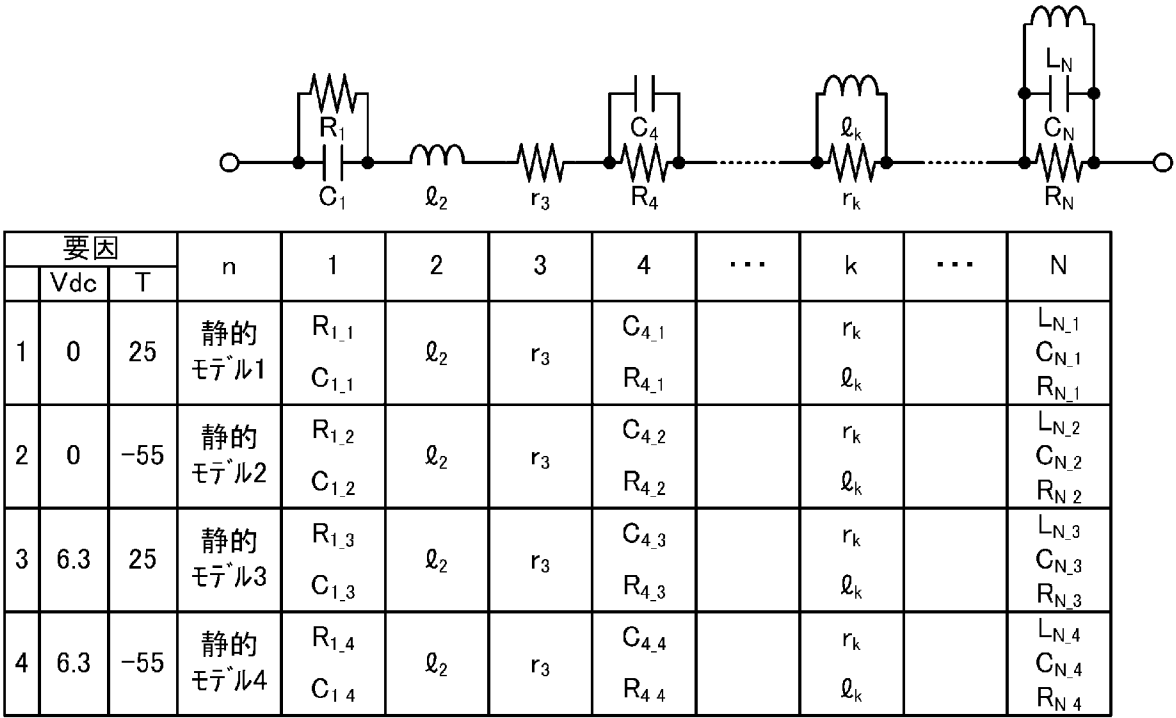


図5

[図6]

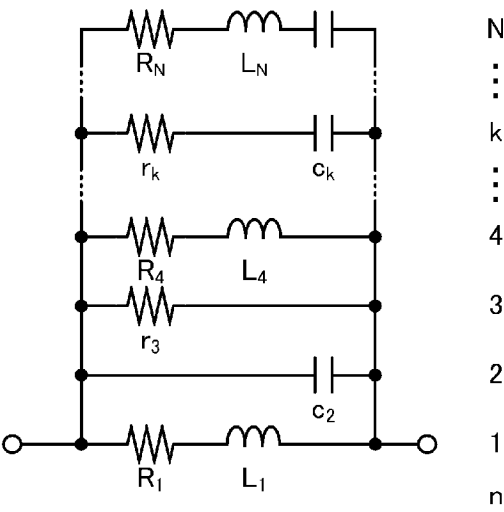


図6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/032742

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G06F17/50 (2006.01) i, H01F41/00 (2006.01) i, H01G13/00 (2013.01) 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)

Int.Cl. G06F17/50, H01F41/00, H01G13/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2017

Registered utility model specifications of Japan 1996-2017

Published registered utility model applications of Japan 1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	日高青路, 積層セラミックコンデンサの動的モデルと進化する回路シミュレーション 村田製作所, 電波新聞第二部エレクトロニクス特集 ハイテクノロジー, 18 August 2016, no. 1445, pp. 8, 9, non-official translation (HIDAKA, Seiji, "Dynamic Model of Laminated Ceramic Capacitor, and Evolutional Circuit Simulation" MURATA MFG. CO., LTD., Radio-Wave Newspaper Second Part: High-Technology in Special Edition")	1-4

☐ 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

"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
17 November 2017 (17.11.2017)Date of mailing of the international search report
05 December 2017 (05.12.2017)Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G06F17/50(2006.01)i, H01F41/00(2006.01)i, H01G13/00(2013.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G06F17/50, H01F41/00, H01G13/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	日高青路, 積層セラミックコンデンサの動的モデルと進化する回路シミュレーション 村田製作所, 電波新聞第二部エレクトロニクス特集 ハイテクノロジー, 2016.08.18, 第1445号, pp. 8, 9	1-4

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

17.11.2017

国際調査報告の発送日

05.12.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

早川 学

5M

9652

電話番号 03-3581-1101 内線 3599