

(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 2018/096765 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/JP2017/032740
- (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 2016-227790 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,

(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

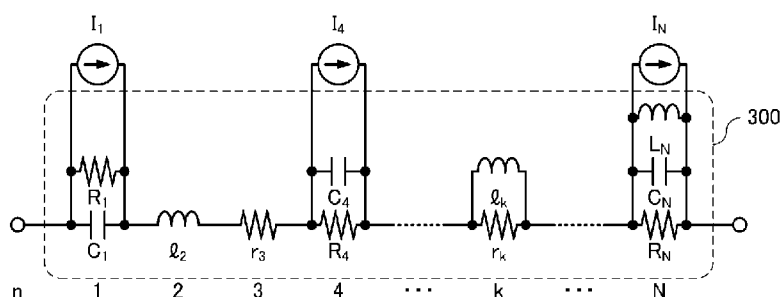


図3

(57) **Abstract:** The present invention performs circuit simulation in which various factors are taken into account. A circuit simulation method for simulating, by a computer, the characteristic of a capacitor using an equivalent circuit of the capacitor that is represented by a passive circuit element. The computer specifies the values of a plurality of factors that affect the characteristic of the capacitor, and, on the basis of the values of the specified plurality of factors and characteristic information that indicates the correspondence relation of the values that the plurality of factors can assume and the characteristic of the passive circuit element, causes a differential current between a characteristic current flowing in the passive circuit element when the plurality of factors take the specified values and an initial current flowing in the passive circuit element when the plurality of factors take prescribed values to be generated by a control element connected in parallel to the passive circuit element the characteristic of which varies in accordance with the plurality of factors, and adds the differential current to the initial current, whereby the computer simulates the non-linear characteristic of the capacitor that corresponds to the plurality of factors.

CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
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: 様々な要因を考慮した回路シミュレーションを行う。受動回路素子により表されたコンデンサの等価回路を用いてコンデンサの特性をコンピュータによってシミュレートする回路シミュレーション方法であって、コンピュータは、コンデンサの特性に影響を与える複数の要因の値を特定し、特定された複数の要因の値と、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とに基づいて、複数の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制御素子により、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させ、初期電流に差分電流を加算することで、複数の要因に応じたコンデンサの非線形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手法が開示されている。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手法が開示されている。

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、直流電圧又は直流電流を考慮することにより、回路シミュレーションの精度を向上させることが可能である。

[0006] ところで、コンデンサやインダクタの特性は、直流電圧や直流電流だけで

はなく、温度や特性ばらつき、交流電圧、交流電流等の様々な要因によって変化し得る。しかしながら、特許文献1及び2に開示されている手法では、特性を変化させる要因として、直流電圧又は直流電流しか考慮されていない。

[0007] 本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであり、様々な要因を考慮した回路シミュレーション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

[0008] 本発明の一態様に係る回路シミュレーション方法は、受動回路素子により表されたコンデンサの等価回路を用いてコンデンサの特性をコンピュータによってシミュレートする回路シミュレーション方法であって、コンピュータは、コンデンサの特性に影響を与える複数の要因の値を特定し、特定された複数の要因の値と、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とに基づいて、複数の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制御素子により、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させ、初期電流に差分電流を加算することで、複数の要因に応じたコンデンサの非線形特性をシミュレートする。

[0009] また、本発明の一態様に係る回路シミュレーション方法は、受動回路素子により表されたインダクタの等価回路を用いてインダクタの特性をコンピュータによってシミュレートする回路シミュレーション方法であって、コンピュータは、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し、特定された複数の要因の値と、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とに基づいて、複数の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制御素子により、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させ、初期電圧に差分

電圧を加算することで、複数の要因に応じたインダクタの非線形特性をシミュレートする。

[0010] 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、コンデンサの等価回路を表す受動回路素子と、コンデンサ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と、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記憶部と、複数の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制御素子であって、特定された複数の要因の値及び特性情報に基づいて、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制御素子と、を含むコンデンサの非線形等価回路モデルを記憶するモデル記憶部と、非線形等価回路モデルを用いて、複数の要因に応じたコンデンサの非線形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。

[0011] 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、インダクタの等価回路を表す受動回路素子と、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と、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記憶部と、複数の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制御素子であって、特定された複数の要因の値及び特性情報に基づいて、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制御素子と、を含むインダクタの非線形等価回路モデルを記憶するモデル記憶部と、非線形等価回路モデルを用いて、複数の要因に応じたインダクタの非線形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

[0012] 本発明によれば、様々な要因を考慮した回路シミュレーション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

[0013] [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]非線形等価回路モデルの機能ブロックの一例を示す図である。

[図3]コンデンサの非線形等価回路モデルの一例を示す図である。

[図4]インダクタの非線形等価回路モデルの一例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0014] 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、モデル記憶部１１０及びシミュレーション実行部１２０を備える。

[0015] モデル記憶部１１０は、コンデンサ及びインダクタの非線形等価回路モデルを記憶する。非線形等価回路モデルは、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、モデル記憶部１１０に格納される。非線形等価回路モデルは、コンデンサ及びインダクタの特性に影響を与える複数の要因を考慮したものである。複数の要因は、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）、特性ばらつき等を含む。

[0016] シミュレーション実行部１２０は、モデル記憶部１１０に格納されている非線形等価回路モデルを用いて、複数の要因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。

[0017] 図２は、非線形等価回路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、非線形等価回路モデル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。

[0018] 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。

[0019] 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。

[0020] 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。近似関数の詳細については後述する。なお、特性情報は、関数に限られず、例えば、複数の要因の複数の取り得る値と、複数の取り得る値のそれぞれに対する受動回路素子の特性とを対応づけた情報（例えば、テーブル情報）であってもよい。

[0021] 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。

[0022] 図 3 は、コンデンサの非線形等価回路モデルの一例を示す図である。図 3 に示すように、コンデンサの非線形等価回路モデルは、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、コンデンサの非線形等価回路モデルは、複数の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、複数の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] コンデンサの非線形等価回路モデルにおいて、電流源 I は、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初期電流との差分電流を生成する。例えば、電流源 I_1 は、複数の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、複数の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、複数の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。

[0024] 図4は、インダクタの非線形等価回路モデルの一例を示す図である。図4に示すように、インダクタの非線形等価回路モデルは、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、インダクタの非線形等価回路モデルは、複数の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、複数の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。

[0025] インダクタの非線形等価回路モデルにおいて、電圧源 V は、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初期電圧との差分電圧を生成する。例えば、電圧源 V_1 は、複数の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、複数の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。

[0026] 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。

[0027] 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]

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

[0028] 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。

[0029] 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 0 V（又は 0 A）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]

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

[0030] 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]

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

[0031] 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]

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

[0032] 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]

$$\begin{aligned} f(x_1, x_2) = & b_{10} \cdot (x_1 - x_{10}) \\ & + b_{01} \cdot (x_2 - x_{20}) \\ & + b_{11} \cdot (x_1 - x_{10}) \cdot (x_2 - x_{20}) \\ & + \dots + b_{n1, n2} \cdot (x_1 - x_{10})^{n1} \cdot (x_2 - x_{20})^{n2} \quad \dots (11) \end{aligned}$$

[0033] 式 (1 1) 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。

[0034] 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 (1 2) で表すこともできる。

[数12]

$$\begin{aligned} f(x_1, x_2) = & b_{10} \cdot g_{10}(x_1, x_2) \\ & + b_{01} \cdot g_{01}(x_1, x_2) \\ & + b_{11} \cdot g_{11}(x_1, x_2) \\ & + \dots + b_{mn} \cdot g_{mn}(x_1, x_2) \quad \dots (1 2) \end{aligned}$$

[0035] 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 (1 3) で定義すると、べき乗により展開した式 (1 1) に一致する。

[数13]

$$g_{ij}(x_1, x_2) = (x_1 - x_{10})^i \cdot (x_2 - x_{20})^j \quad \dots (1 3)$$

[0036] 基底関数 $g_{ij}(x_1, x_2)$ を以下の式 (1 4) ~ (1 7) 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]

$$g_{i0}(x_1, x_2) = \frac{x_1 - x_{10}}{x_1 + c_{1,0}} \quad \dots (1 4)$$

[数15]

$$g_{0j}(x_1, x_2) = \frac{x_2 - x_{20}}{x_2 + c_{2,0j}} \quad \dots (1 5)$$

[数16]

$$g_{ij}(x_1, x_2) = \frac{x_1 - x_{10}}{x_1 + c_{1,ij}} \cdot \frac{x_2 - x_{20}}{x_2 + c_{2,ij}} \quad \dots (1 6)$$

[数17]

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

[0037] 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。

[0038] 以上のように、複数の要因に応じた受動回路素子の特性の変化率の近似関数（特性情報）を求めることができる。そして、本実施形態の回路シミュレーション装置100では、コンデンサの特性に影響を与える複数の要因の値が特定される。そして、特定された複数の要因の値と、受動回路素子の特性変化を示す特性情報とに基づいて、複数の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によって差分電流が生成される。これにより、複数の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。

[0039] また、本実施形態の回路シミュレーション装置100では、インダクタの特性に影響を与える複数の要因の値が特定される。そして、特定された複数の要因の値と、受動回路素子の特性変化を示す特性情報とに基づいて、複数の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によって差分電圧が生成される。これにより、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。

[0040] また、本実施形態の回路シミュレーション装置100では、受動回路素子の特性変化を示す特性情報は、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として表すことができる。このような関数を用いることにより、複数の要因の様々な値に対応する受動回路素子の特性の値を算出することが可能となる。したがって、複数の要因の様々な値におけるシミュレーションが可能となる。

[0041] また、本実施形態の回路シミュレーション装置100では、受動回路素子の特性変化を示す特性情報は、例えば、複数の要因の複数の取り得る値と、複数の取り得る値のそれぞれに対する受動回路素子の特性とを対応づけた情報（例えば、テーブル情報）として表すことができる。このような情報を用

いることにより、複雑な関数の計算が不要となり、シミュレーションの処理時間を削減することが可能となる。

[0042] 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

[0043] 100
回路シミュレーション装置、110
モデル記憶部、120
シミュレーション実行部、200
非線形等価回路モデル、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] 受動回路素子により表されたコンデンサの等価回路を用いて前記コンデンサの特性をコンピュータによってシミュレートする回路シミュレーション方法であって、
- 前記コンピュータは、
- 前記コンデンサの特性に影響を与える複数の要因の値を特定し、
- 前記特定された複数の要因の値と、前記複数の要因の取り得る値と前記受動回路素子の特性との対応関係を示す特性情報とに基づいて、
- 前記複数の要因に応じて特性が変化する前記受動回路素子に並列に接続される制御素子により、前記複数の要因が前記特定された値の場合に前記受動回路素子に流れる特性電流と前記複数の要因が所定の値の場合に前記受動回路素子に流れる初期電流との差分電流を生成させ、
- 前記初期電流に前記差分電流を加算することで、
- 前記複数の要因に応じた前記コンデンサの非線形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] 受動回路素子により表されたインダクタの等価回路を用いて前記インダクタの特性をコンピュータによってシミュレートする回路シミュレーション方法であって、
- 前記コンピュータは、
- 前記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し、
- 前記特定された複数の要因の値と、前記複数の要因の取り得る値と前記受動回路素子の特性との対応関係を示す特性情報とに基づいて、
- 前記複数の要因に応じて特性が変化する前記受動回路素子に直列に接続される制御素子により、前記複数の要因が前記特定された値の場合に前記受動回路素子に生じる特性電圧と前記複数の要因が所定の値の場合に前記受動回路素子に生じる初期電圧との差分電圧を生成させ、
- 前記初期電圧に前記差分電圧を加算することで、

前記複数の要因に応じた前記インダクタの非線形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3] 前記特性情報は、前記複数の要因を変数とする前記受動回路素子の特性の関数である、

請求項 1 又は 2 に記載の回路シミュレーション方法。

[請求項4] 前記特性情報は、前記複数の要因の複数の取り得る値と、前記複数の取り得る値のそれぞれに対する前記受動回路素子の特性とを対応づけた情報である、

請求項 1 又は 2 に記載の回路シミュレーション方法。

[請求項5] コンデンサの等価回路を表す受動回路素子と、

前記コンデンサ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と、

前記複数の要因の取り得る値と前記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記憶部と、

前記複数の要因に応じて特性が変化する前記受動回路素子に並列に接続される制御素子であって、前記特定された複数の要因の値及び前記特性情報に基づいて、前記複数の要因が前記特定された値の場合に前記受動回路素子に流れる特性電流と前記複数の要因が所定の値の場合に前記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制御素子と、

を含むコンデンサの非線形等価回路モデルを記憶するモデル記憶部と、

前記非線形等価回路モデルを用いて、前記複数の要因に応じた前記コンデンサの非線形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6] インダクタの等価回路を表す受動回路素子と、

前記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と、

前記複数の要因の取り得る値と前記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記憶部と、

前記複数の要因に応じて特性が変化する前記受動回路素子に直列に接続される制御素子であって、前記特定された複数の要因の値及び前記特性情報に基づいて、前記複数の要因が前記特定された値の場合に前記受動回路素子に生じる特性電圧と前記複数の要因が所定の値の場合に前記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制御素子と、

を含むインダクタの非線形等価回路モデルを記憶するモデル記憶部と、

前記非線形等価回路モデルを用いて、前記複数の要因に応じた前記インダクタの非線形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。

[図1]

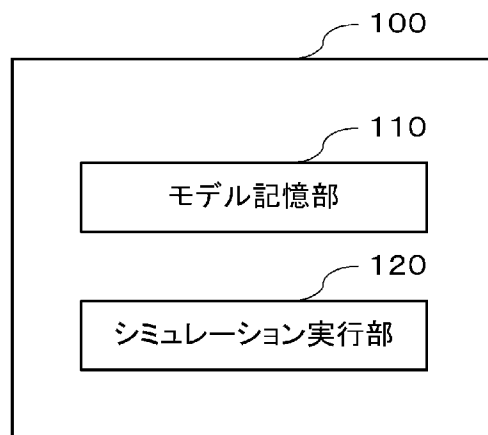


図1

[図2]

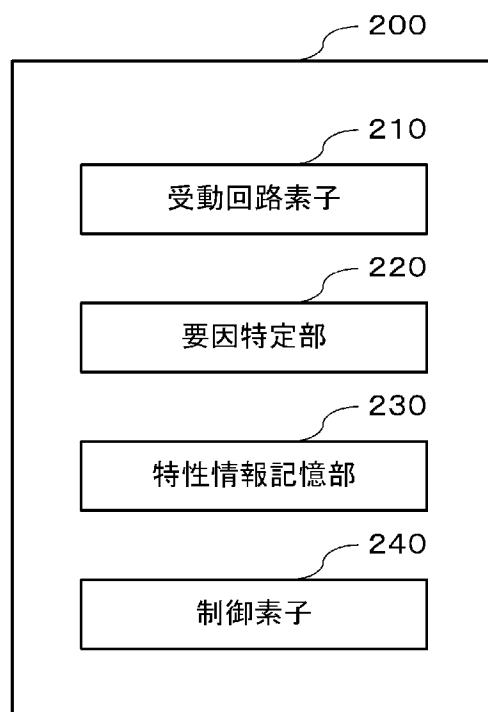


図2

[図3]

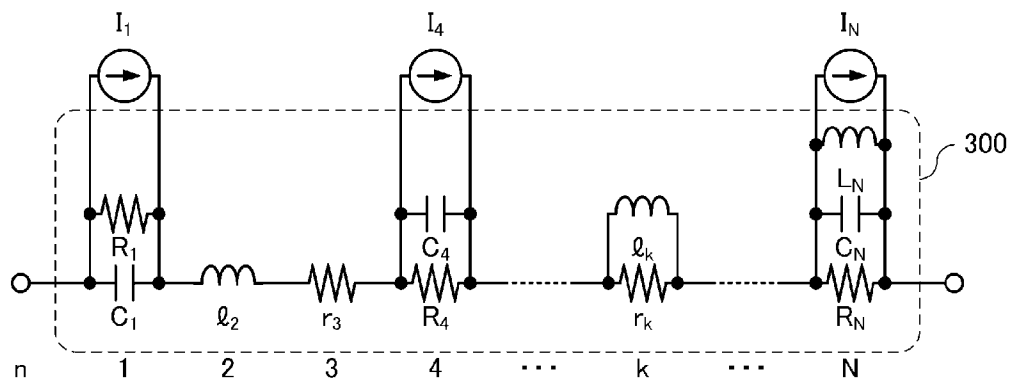


図3

[図4]

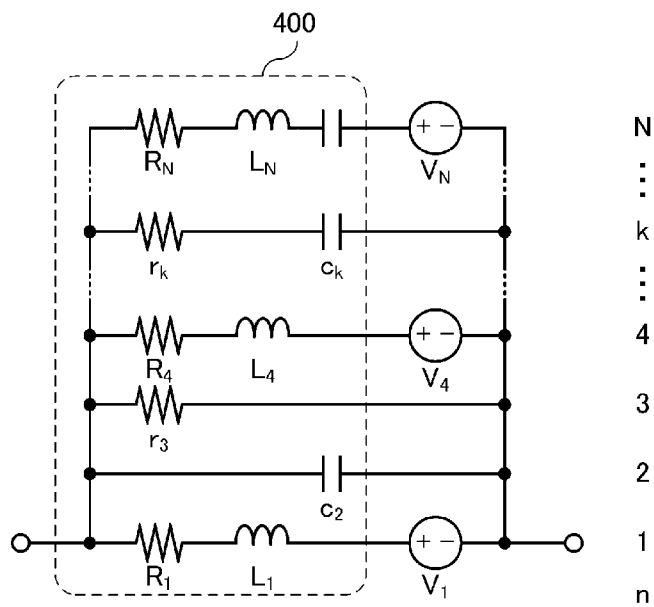


図4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/032740

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	パワーインダクタ、および高誘電率系チップ積層セラミックコンデンサの動的モデルについて、MURATA MFG. CO., LTD. [online], 11 September 2015 (internet archive), pp. 1-22, [search date 08 November 2017], internet: <URL: http://web.archive.org/web/20150911010515/http://www.murata.com/~media/webrenewal/tool/library/spice/note_dynamic-model_mi101j.ashx?la=ja-jp >, non-official translation ("Regarding Dyanmic Model of Power Inductor and High Dielectric Chip Laminated Capacitor")	1-6



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
08 November 2017 (08.11.2017)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.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/032740

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	"Dynamic Model of Power Inductors and High Dielectric Constant Type Chip Monolithic Ceramic Capacitors", MURATA MANUFACTURING CO, LTD. [online], 08 September 2015 (internet archive), pp. 1-22, [retrieved on 08 November 2017], internet: <URL:http://web.archive.org/web/20150908080605/http://www.murata.com/~media/webrenewal/tool/library/p spice/note_dynamic-model_mi101e.ashx?la=en>	1-6
X A	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, 3-5 2, 6

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	パワーインダクタ、および高誘電率系チップ積層セラミックコンデンサの動的モデルについて、村田製作所[オンライン], 2015.09.11（インターネットアーカイブの日付）, pp. 1-22, [検索日 2017.11.08], インターネット: <URL: http://web.archive.org/web/20150911010515/http://www.murata.com/~media/webrenewal/tool/library/pspice/note_dynamic-mode_l_mi101j.ashx?la=ja-jp >	1-6

☒ 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

08.11.2017

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

C (続き) . 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	Dynamic Model of Power Inductors and High Dielectric Constant Type Chip Monolithic Ceramic Capacitors, Murata Manufacturing Co, Ltd. [online], 2015.09.08(Internet Archive), pp.1-22, [Retrieved on 2017.11.08], Internet:<URL: http://web.archive.org/web/20150908080605/http://www.murata.com/~media/webrenewal/tool/library/pspice/note_dynamic-model_mi101e.ashx?la=en >	1-6
X A	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, 3-5 2, 6