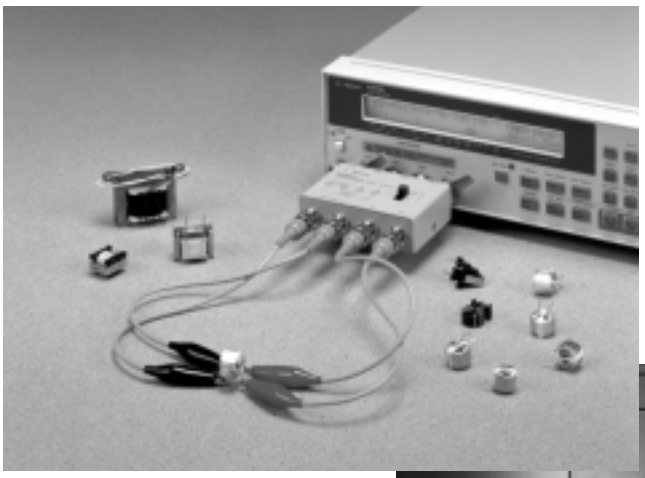
Agilent Technologies 4263B LCRメータ

スキャナを用いた効率的な マルチタップ・トランス測定

アプリケーション・ノート 1224-5



ご注意

2002 年 6 月 13 日より、製品構成をよりわかりやすくするために、Agilent 製品のオプション構成が変更されています。
カタログの記載と異なりますので、ご発注の前にご確認をお願いします。

Agilent Technologies

はじめに

近年の電子機器/デジタル回線の発展に伴い、機器の小型化、低消費電力化、高品質化に貢献するトランスの生産量が増加しており、生産ラインや受入検査部門における選別評価効率の改善が求められています。特に、最近注目されているLAN/ISDNなどのデジタル回線に使用されるパルス・トランスや、スイッチング電源用トランスなどのひとつで3極以上のタップを持つトランス（マルチタップ・トランス）の評価効率の改善が求められています。本アプリケーション・ノートではスキャナと**Agilent** 4263B LCRメータを用いた効率的なマルチタップ・トランス測定についてご紹介します。

4263Bのトランス測定機能

4263B LCRメータは、100, 120, 1 k, 10 k, 100 kHzの5ポイントの測定周波数でLCR部品の基本パラメータを最高 25 msで高速測定する低価格LCRメータです。オプション001を追加することによりトランス測定に必要な巻線比(N)、相互インダクタンス(M)、直流抵抗(DCR)測定が可能になります。図1にL, M, DCR測定時の簡単なブロック図を示します。

たとえば、インダクタンス－巻線比(L-N)測定の場合、H_{CUR}端子から交流電圧を印加し、V_1、I_1の各測定値からインダクタンス値(L1)を算出します。また内部スイッチ(SW1)を切り換えることによりV_1、V_2を測定し、その比から巻線比(N)を算出します（極性も同時に判断します)。

また、インダクタンス－直流抵抗(L-DCR)測定の場合は、H_{CUR}端子からの印加電圧を交流と直流を交互に切り換え、各々のV_1、I_1の測定値からインダクタンス値(L1)と直流抵抗値(DCR1)を算出します。

ただし、図1の様な接続での測定は、

- トランスの1次側の自己インダクタンスと直流抵抗しか測定できず、2次側の自己インダクタンスと直流抵抗を測定するためには、端子のつなぎかえが必要である。
- 巻線比は1以上でなければならない（1未満の場合、内部回路が飽和し測定ができなくなるため)。

などの限定があるため、16060Aトランス・テスト・フィクスチャとの併用を推奨しています。16060Aは、フィクスチャ上部のスイッチで、測定信号の印加方向を1次側インダクタンスから2次側インダクタンスへ、また、2次側インダクタンスから1次側インダクタンスへと切り換えることができるので、1次側/2次側の巻線測定に最適な接続をスイッチ1つで簡単に実現します。図2に16060Aの簡単なブロック図を示します。

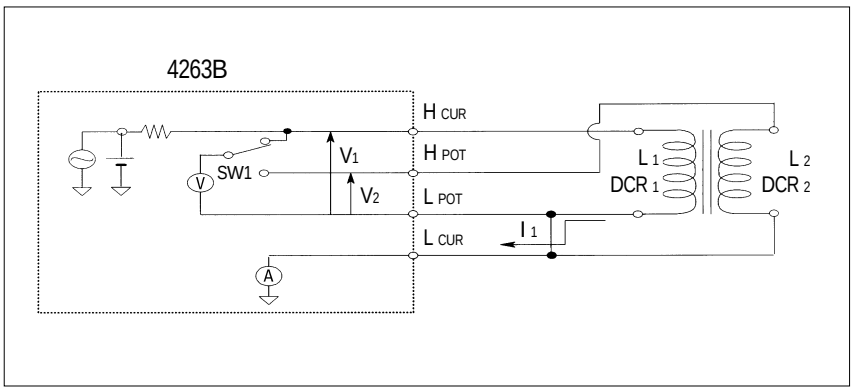


図1. L、M、DCR測定時の 4263Bブロック図

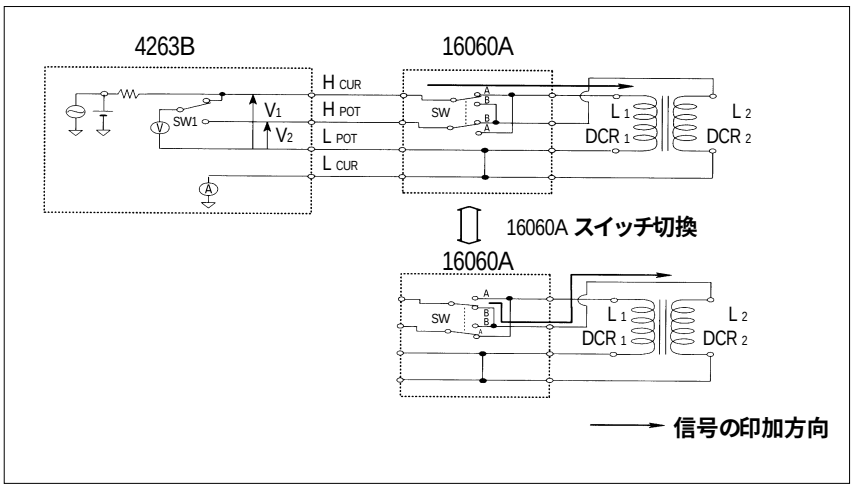


図2. 16060Aブロック図

スキャナを用いたマルチタップ・トランス測定

4263Bのトランス測定機能はスキャナと組み合わせることで2極以上あるマルチタップ・トランスにも対応できます。ここでは、スキャナを用いた場合のマルチタップ・トランス測定の実行方法について示します。

(1) システム構成

4つのタップを持つマルチタップ・トランスを測定するためのシステム構成を図3に示します。

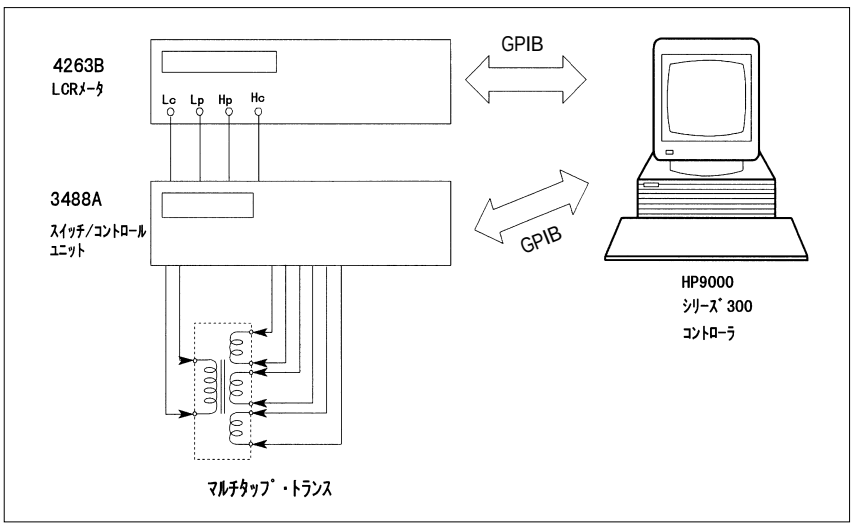


図3. マルチタップ・トランス測定用システム構成

スキャナとして3488Aスイッチ/コントロール・ユニットを使用します。その際、4×4マトリクス・スイッチ・モジュール(オプション013)を使用します。これは、マトリクス・スイッチのクロスポイントにおいて、各信号のHIGH,及びLOWのスイッチングを行なうことができるので、16060Aトランス・テスト・フィクスチャのように、測定信号の印加方向を変えることができます。図4に、そのモジュールのハードウェア構成を示します。

(2) システム構築時の注意

システムを構築する際には、できるだけ正確に測定するために以下の様なことに注意する必要があります。(図5参照)

① 測定ケーブルはできるだけ短くすること

トランス測定の場合、4263Bは2端子構成になりますので、測定ケーブルの導線インダクタンスや導線抵抗が、測定誤差としてかなり大きく影響してきます。これらをできるだけ少なくするには、測定ケーブルをできるだけ短くします。目安として、測定するインダクタンス値の1/10以下の導線インダクタンス値である必要があります。(導線抵抗も同様です。)

② シールデット2端子構成にすること

外来ノイズや浮遊容量の影響をできるだけ受けないように、シールデット2端子構成にします。

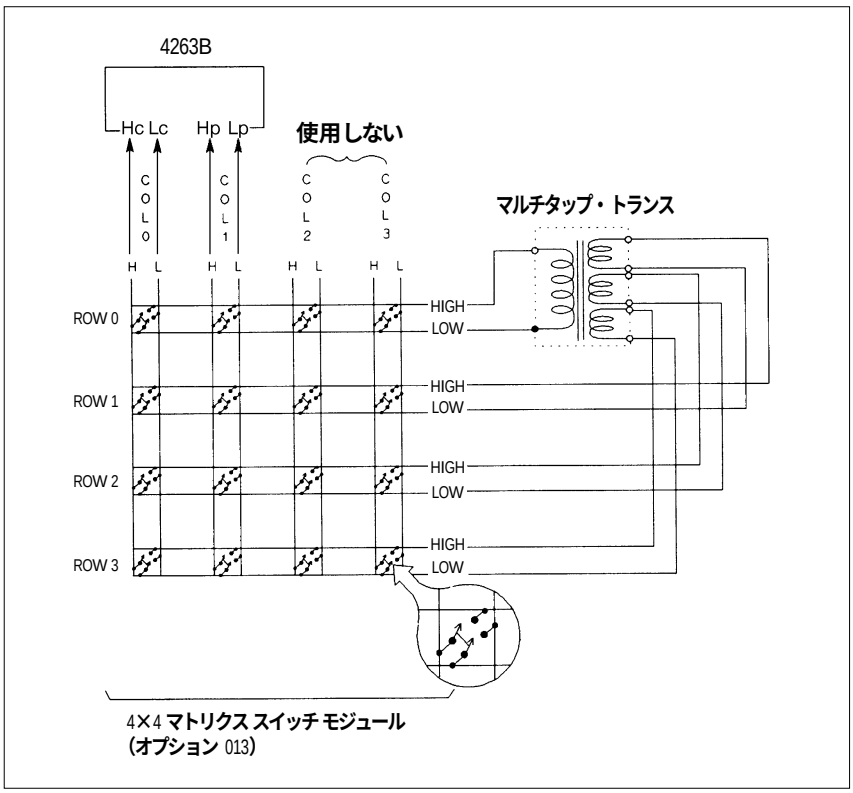


図4. 4×4マトリクス・スイッチ・モジュール

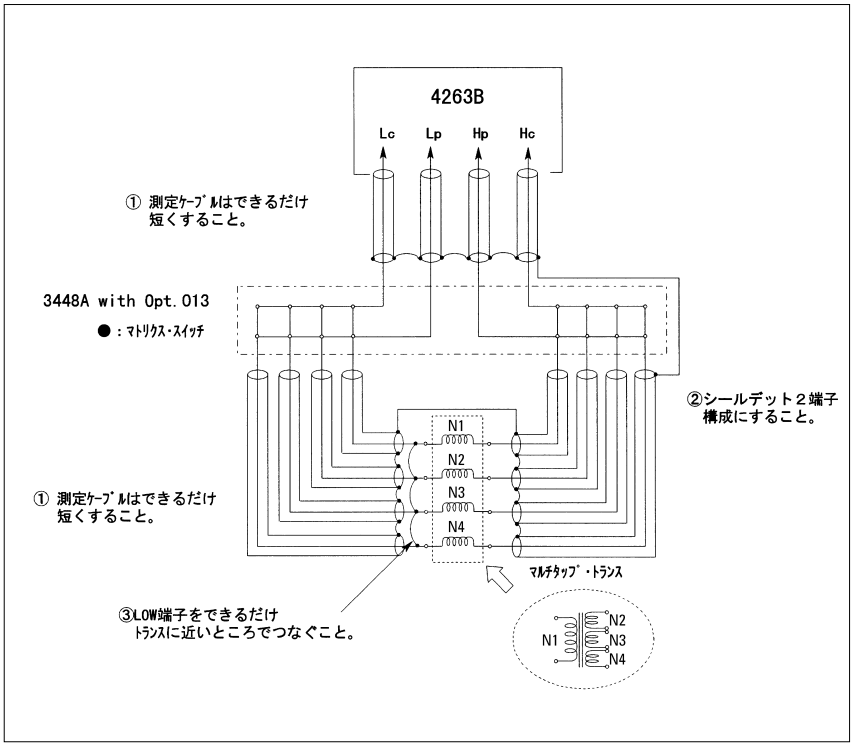


図5．システム構成時の注意

③ スキャナのLOW端子をできるだけトランスに近いところでつなぐこと

トランス測定では、トランスの1次側と2次側のLOW端子を必ずつながなければなりません。スキャナを用いて測定する場合には、できるだけトランスに近いところでつなぐ必要があります。遠いところ（スキャナのモジュールの入力部）でつなぐと、LOW側導線抵抗の影響を直接受けてしまい、測定誤差がより大きくなってしまうので、行なわないようにします。

(3) 測定方法

このレポートの巻末に示されているサンプル・プログラム（コントローラとして HP 9000 コンピュータ・シリーズ300を使用）を用いて4つのタップを持つトランスの各々の、自己インダクタンス、直流抵抗、及び巻線比を1回の接続で測定することができます。図6にサンプル・プログラムのフローチャートを示します。

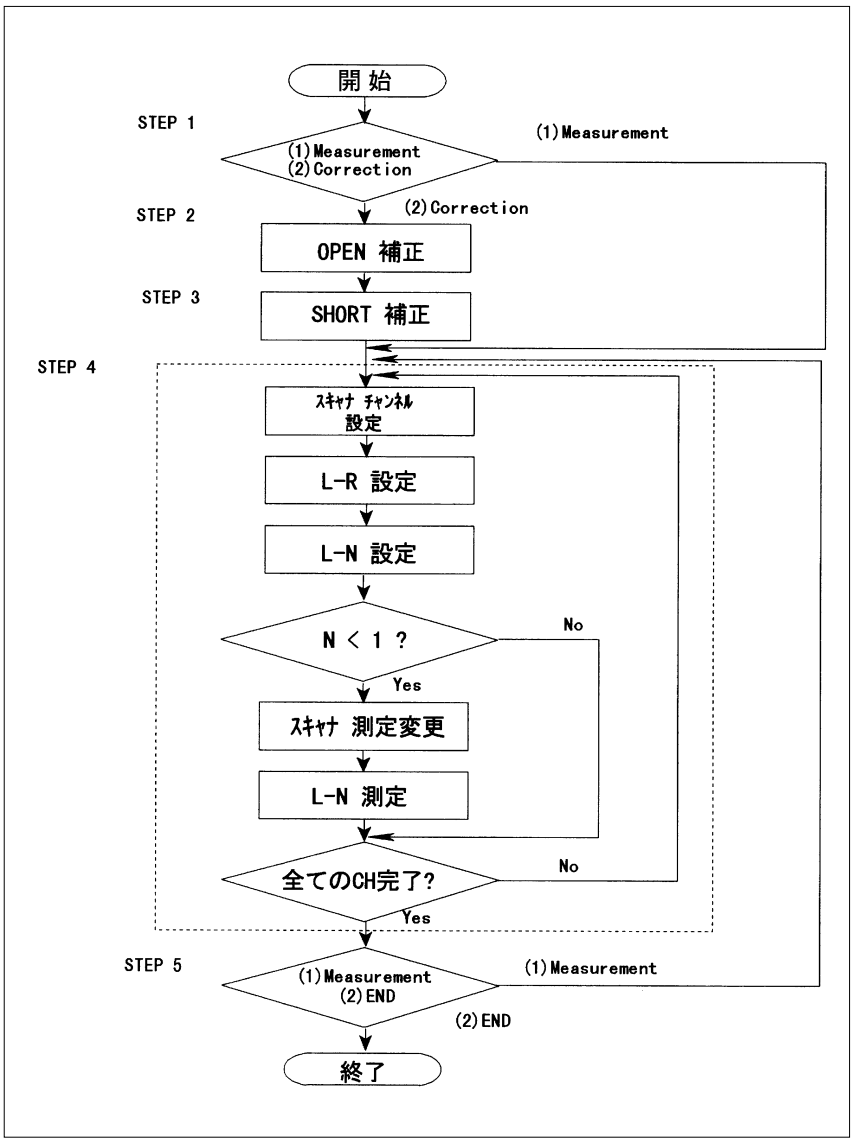


図6. サンプル・プログラムのフローチャート

このプログラムでは、OPEN/SHORT補正を実行し、その後、トランスの各タップ毎に測定を行い、結果をコントローラの画面に表示します。また、巻線比の測定結果が、1未満で測定不能の場合、自動的にスキャナを切り換え、測定し直し表示します。このサンプル・プログラムを修正することで、他のシステムや条件に合わせたプログラムを作ることが可能です。

プログラムの使用方法を手順に従って説明します。

STEP 1. プログラムをRUNさせると、次のメッセージがコントローラの画面に表示されます。

```
SELECTION (1) MEASUREMENT (2) CORRECTION?

TYPE NUMBER AND PRESS RETURN KEY
```

ここで、測定を行なうか補正データを測定するのかを決定します。測定を実行する場合には、コントローラで1をタイプ打ちし、RETURNキーを押します。補正データをとる場合には、コントローラで2をタイプ打ちし、その後RETURNキーを押します。

STEP 2. STEP 1で補正を測定する方を選ぶと、コントローラの画面に以下のメッセージが表示されます。ここでは、スキャナの各チャンネル(CH.0～CH.3)のOPEN補正データを測定します。

```
CH.0 OPEN MEASUREMENT
OPEN TEST TERMINALS OF CH.0 AND CH.1
(1) START OPEN MEAS.  (2) SKIP CH.0 OPEN MEAS.?

TYPE NUMBER AND PRESS RETURN KEY
```

OPEN補正データを測定するために、図7のように全チャンネルをOPEN状態にします。その後、コントローラで1とタイプ打ちし、RETURNキーを押します。チャンネル番号0(CH.0)のOPEN補正データが取得されます。同様に全チャンネル終了するまで行ないます。

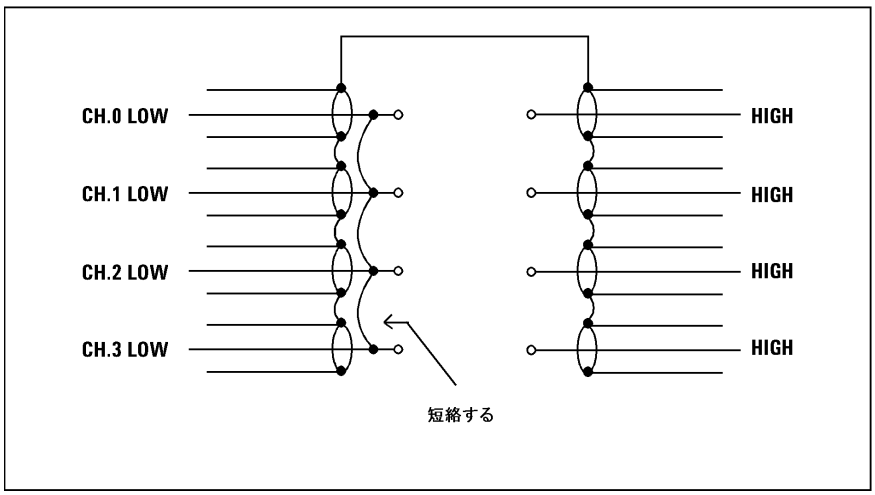


図7. OPEN状態の作り方

STEP 3. STEP 2でOPEN補正を終了すると、コントローラの画面に以下のメッセージが表示されます。ここからスキャナの各チャンネル(CH.0〜CH.3) のSHORT補正データを測定します。

```
CH.0 SHORT MEASUREMENT
SHORT TEST TERMINALS OF CH.0 AND CH.1
(1)START SHORT MEAS. (2)SKIP CH.0 SHORT MEAS.?

TYPE NUMBER AND PRESS RETURN KEY
```

SHORT補正データを測定するために、図8のように全チャンネルをSHORT状態にします。その後、コントローラで1とタイプ打ちし、RETURNキーを押します。チャンネル番号0(CH.0)のSHORT補正データが取得されます。同様に全チャンネル終了するまで行ないます。

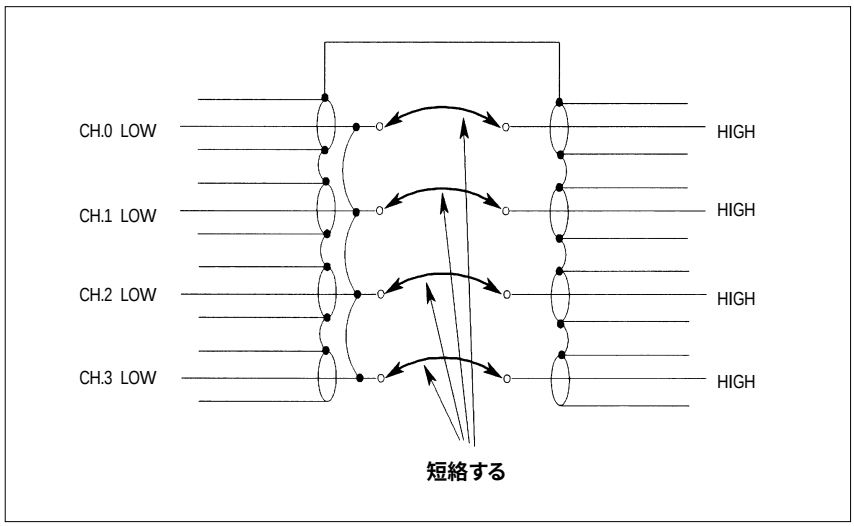


図8. SHORT状態の作り方

STEP 4. OPEN/SHORT補正データ取得が終了すると、以下の様にSTEP 1と同じメッセージがコントローラの画面に表示されます。

```
SELECTION (1) MEASUREMENT (2) CORRECTION?

TYPE NUMBER AND PRESS RETURN KEY
```

測定を行なうために、マルチタップ・トランスをスキャナに図9のように接続し、コントローラで1とタイプ打ちし、RETURNキーを押します。

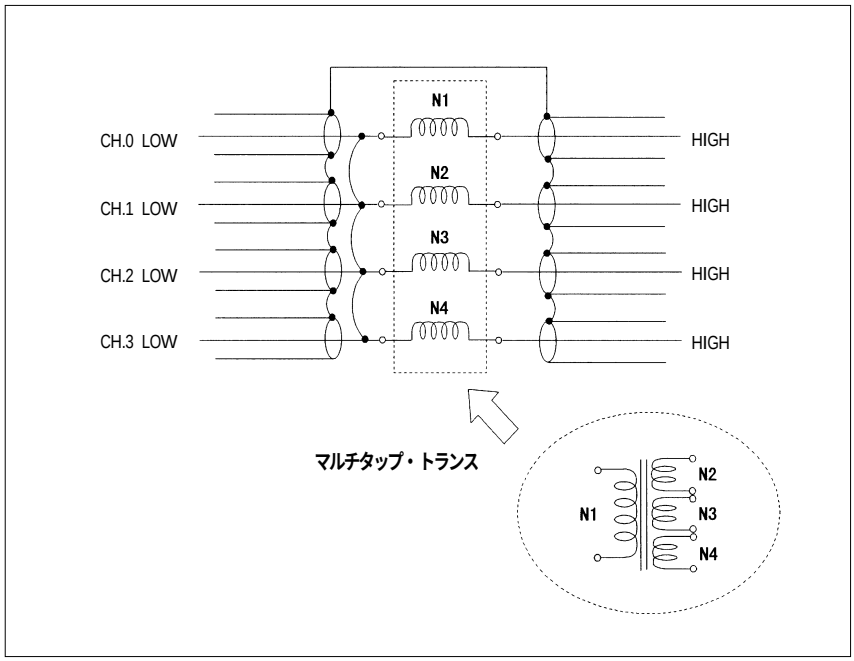


図9. マルチタップ・トランスの接続

マルチタップ・トランスの各タップの自己インダクタンス、直流抵抗、及び巻線比をスキャンしながら、測定します。測定結果は、次のように表示されます。

```
N1: L[H]: 6.00928E-6      DCR[OHM]: .0134568726173   N: 1
N2: L[H]: 2.392557E-5     DCR[OHM]: .0171348134407   N: 2.1304
N3: L[H]: 9.603832E-5     DCR[OHM]: .0230939715609   N: 4.0630
N4: L[H}: .00038334126    DCR[OHM]: .0250939715609   N: 8.0188

DO YOU WANT TO CONTINUE TO MEASURE (1) YES  (2) NO
```

STEP 5. 再度測定を実行したい場合には、1とタイプ打ちしRETURNキーを押します。プログラムを終了する場合には、2とタイプ打ちしRETURNキーを押します。

(4) 測定追加誤差

図3のシステム構成で測定した場合、16060Aトランス・テスト・フィクスチャを用いた測定値と比較すると若干誤差が増加します。測定周波数：1 kHz, 測定信号レベル：1 Vrms測定時間：MEDIUMで測定した場合の追加誤差（参考データ）を以下に示します。

自己インダクタンス：	図10参照
直流抵抗：	図11参照
巻線比：	0.02%以下

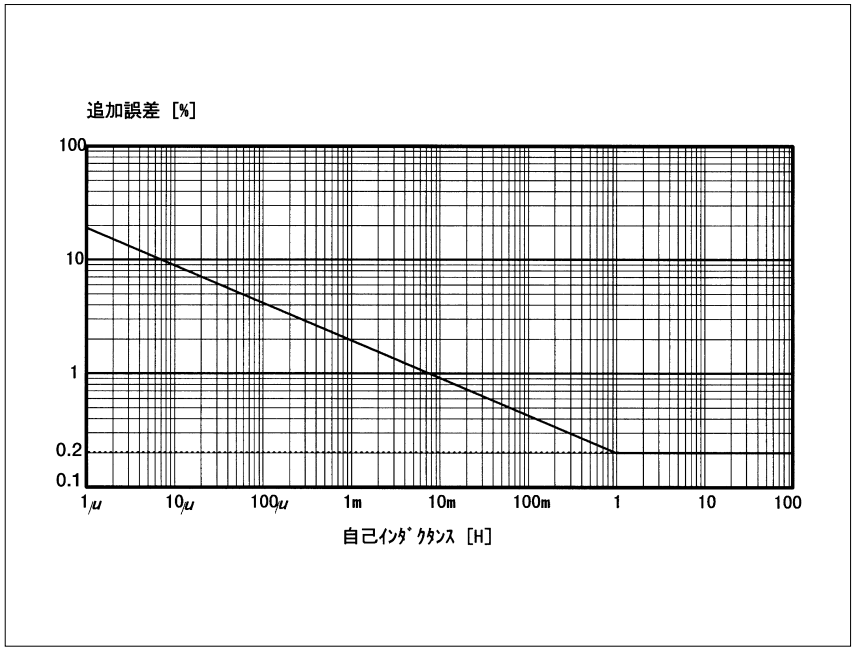


図10．自己インダクタンス追加誤差

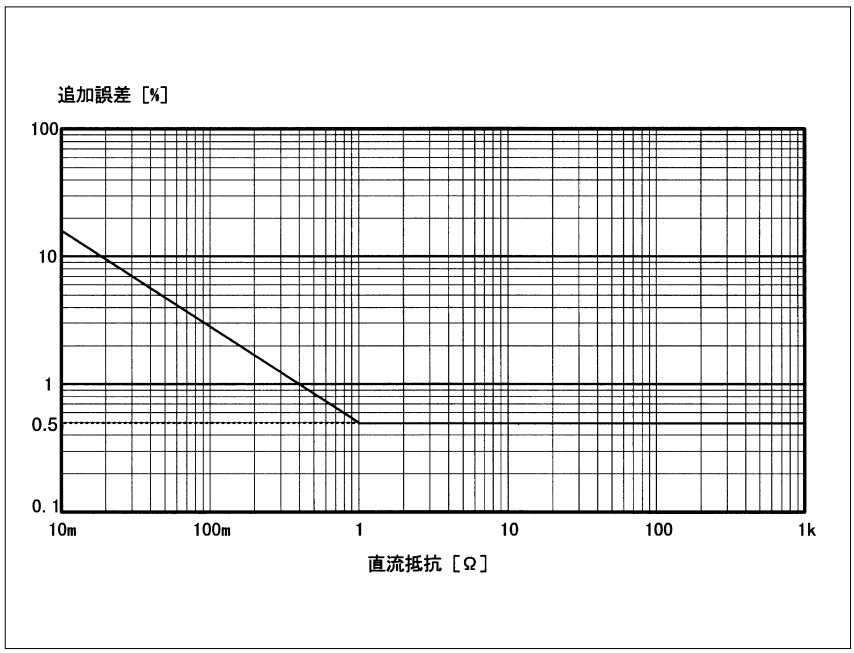


図11．直流抵抗追加誤差

おわりに

このように4263B(オプション001付)とスキャナを組み合わせることで、1回の接続でマルチタップ・トランスの必要なパラメータを測定できます。これにより、製造ラインや受入検査部門での評価効率を格段に向上させることが可能になります。

付録. サンプル・プログラム

```
10    !*****************************************
20    !* HP 4263B with Option 001               *
30    !*  Transformer Measurement using scanner  *
40    !*****************************************
50    !
60    OPTION BASE 0
70    DIM Ch_hc(3),Ch_hp(3)
80    DIM Meas_r(3),Meas_l(3),Dummy(3),N(3),True_r(3),True_l(3)
90    DIM Open_r(3),Open_l(3),Open_g(3),Open_b(3),Short_r(3),Short_l(3)
100                                          !
110   Hp4263B=717                            ! HP 4263B HP-IB Address = 717
120   Hp3488a=709                            ! HP 3488A HP-IB Address = 709
130   Nch=3                                  ! (#-1) of Transformer tap
140   F=1.0E+3                               ! Test Frequency
150   V=1                                    ! Test Signal Level
160   T=.065                                 ! Measurement Speed
170   N(0)=1                                 ! N1=1 as reference
180                                          !
190 Main_menu:                               ! << MAIN MEMU >>
200                                          !
210   PRINT CHR$(12)                         ! Clear screen
220   Work=0                                 !
230   PRINT "SELECT FUNCTION (1) MEASUREMENT (2) CORRECTION ?" !
240   INPUT "TYPE NUMBER AND PRESS RETURN KEY",Work !
250   IF Work=1 THEN Measurement             !
260   IF Work=2 THEN Correction              !
270                                          !
280 Correction:                              ! << CORRECTION >>
290                                          !
300 Open_correction:                         ! << OPEN correction >>
310                                          !
320   OUTPUT Hp4263B;":SYSTEM:PRESET"        ! Reset the HP 4263B
330   OUTPUT Hp4263B;":SOURCE:FREQ ";F       !  Frequency: F
340   OUTPUT Hp4263B;":SOURCE:VOLTAGE ";V    !  Signal level: V
350   OUTPUT Hp4263B;":SENS:FIMP:APER 0.5"   !  Meas. speed: LONG
360                                          !
370   FOR Ch=0 TO Nch                        !
380                                          !
390     Ch$=VAL$(Ch)                         !
400     PRINT CHR$(12)                       !
410     PRINT "CH."&Ch$&" OPEN MEASUREMENT"  !
420     IF Ch=0 THEN PRINT "OPEN TEST TERMINALS OF CH.0 AND CH.1"!
430     IF Ch<>0 THEN PRINT "OPEN TEST TERMINALS OF CH.0 AND CH."&Ch$!
440     PRINT " (1) START OPEN MEAS.    (2) SKIP CH."&Ch$&" OPEN MEAS.?"
450     Work=0                               !
460     INPUT "TYPE NUMBER AND PRESS RETURN KEY",Work !
470     IF Work<>1 AND Work<>2 THEN 460      !
480     IF Work=1 THEN Open_meas             !
490     IF Work=2 THEN Open_skip_ch          !
500                                          !
510 Open_meas:                               !
520                                          !
530     Ch_hc(Ch)=200+Ch*10                  ! Channel Setting of Hcur/Lcur
540     IF Ch=0 THEN Ch_hp(Ch)=211           ! Channel Setting of Hpot/Lcur
550     IF Ch<>0 THEN Ch_hp(Ch)=201          !
560                                          !
570     OUTPUT Hp3488a;"RESET"               ! Reset the HP 3488A
580     OUTPUT Hp3488a;"CLOSE";Ch_hc(Ch),Ch_hp(Ch) ! Close the channels
590     OUTPUT Hp4263B;":SENS:FUNC:CONC ON"  !  Meas.mode: L2-R2
600     OUTPUT Hp4263B;":SENS:FUNC 'IMP','RES'"!
610     OUTPUT Hp4263B;":CALC1:FORM LS"      !
620     OUTPUT Hp4263B;":CALC2:FORM REAL"    !
630     OUTPUT Hp4263B;"TRIG:SOUR BUS"       !  Trigger mode: BUS
640     OUTPUT Hp4263B;"*TRG"                ! OPEN correction data
650     ENTER Hp4263B;S,Open_l(Ch),Open_r(Ch) !
660     IF S<>0 THEN 640
670     OUTPUT Hp3488a;"OPEN";Ch_hc(Ch),Ch_hp(Ch) ! Open the channels
680     Open_g(Ch)=1/Open_r(Ch)              !
690     Open_b(Ch)=1/Open_l(Ch)              !
700                                          !
710 Open_skip_ch:                            !
720                                          !
730   NEXT Ch                                !
740                                          !
750 Short_correct:                           ! << SHORT Correction >>
760                                          !
770   OUTPUT Hp4263B;":SYSTEM:PRESET"        ! Reset the HP 4263B
780   OUTPUT Hp4263B;":SOURCE:FREQ ";F       !  Frequency: F
790   OUTPUT Hp4263B;":SOURCE:VOLTAGE ";V    !  Signal level: V
800   OUTPUT Hp4263B;":SENS:FIMP:APER 0.5"   !  Meas. speed: LONG
810                                          !
820   FOR Ch=0 TO Nch                        !
830                                          !
840     PRINT CHR$(12)                       ! Clear screen
850     Ch$=VAL$(Ch)                         !
860     PRINT "CH."&Ch$&" SHORT MEASUREMENT" !
870     IF Ch=0 THEN PRINT "SHORT TEST TERMINALS OF CH.0 AND CH.1"!
880     IF Ch<>0 THEN PRINT "SHORT TEST TERMINALS OF CH.0 AND CH."&Ch$ !
890     PRINT "(1) START SHORT MEAS.   (2) SKIP CH."&Ch$&" SHORT MEAS.?" !
900     Work=0                               !
910     INPUT "TYPE NUMBER AND PRESS RETURN KEY",Work !
920     IF Work<>1 AND Work<>2 THEN 910      !
930     IF Work=1 THEN Short_meas            !
940     IF Work=2 THEN Short_skip_ch         !
950                                          !
```

```
960 Short_meas:                                 !
970                                             !
980     Ch_hc(Ch)=200+Ch*10                     ! Channel Setting for Hcur/Lcur
990     IF Ch=0 THEN Ch_hp(Ch)=211              ! Channel Setting for Hpot/Lpot
1000    IF Ch<>0 THEN Ch_hp(Ch)=201             !
1010                                            !
1020    OUTPUT Hp3488a;"RESET"                  ! Reset the HP 3488A
1030    OUTPUT Hp3488a;"CLOSE";Ch_hc(Ch),Ch_hp(Ch) ! Close the channels
1040    OUTPUT Hp4263B;":SENS:FUNC:CONC ON"     !  Meas.mode: L2-R2
1050    OUTPUT Hp4263B;":SENS:FUNC 'IMP','RES'"!
1060    OUTPUT Hp4263B;":CALC1:FORM LS"         !
1070    OUTPUT Hp4263B;":CALC2:FORM REAL"       !
1080    OUTPUT Hp4263B;"TRIG:SOUR BUS"          !  Trigger mode: BUS
1090    OUTPUT Hp4263B;"*TRG"                   ! SHORT correction data
1100    ENTER Hp4263B;S,Short_l(Ch),Short_r(Ch)!
1110    IF S<>0 THEN 1090                       !
1120    OUTPUT Hp3488a;"OPEN";Ch_hc(Ch),Ch_hp(Ch) ! Open the channels
1130                                            !
1140 Short_skip_ch:                             !
1150                                            !
1160  NEXT Ch                                   !
1170                                            !
1180  GOTO Main_menu                            ! Return to Main Menu
1190                                            !
1200 Measurement:                               ! << MEASUREMENT >>
1210                                            !
1220  PRINT CHR$(12)                            ! Clear screen
1230  OUTPUT Hp4263B;":SYSTEM:PRESET"           ! Reset the HP 4263B
1240  OUTPUT Hp4263B;":SOURCE:FREQ ";F          !  Frequency: F
1250  OUTPUT Hp4263B;":SOURCE:VOLTAGE ";V       !  Teset signal level: V
1260  OUTPUT Hp4263B;":SENS:FIMP:APER ";T       !  Measurement Speed: T
1270  OUTPUT Hp4263B;":TRIG:SOUR BUS"           !  Trigger mode: BUS
1280  OUTPUT Hp3488a;"RESET"                    ! Reset the HP 3488A
1290                                            !
1300  FOR Ch=0 TO Nch                            !
1310                                            !
1320    OUTPUT Hp4263B;":SENS:FUNC:CONC ON"     !  Meas.mode: L2-R2
1330    OUTPUT Hp4263B;":SENS:FUNC 'IMP','RES'"!
1340    OUTPUT Hp4263B;":CALC1:FORM LS"         !
1350    OUTPUT Hp4263B;":CALC2:FORM REAL"       !
1360    Ch_hc(Ch)=200+Ch*10                     ! Channel Setting for Hcur/Lcur
1370    IF Ch=0 THEN Ch_hp(Ch)=211              ! Channel Setting for Hpot/Lpot
1380    IF Ch<>0 THEN Ch_hp(Ch)=201             !
1390    OUTPUT Hp3488a;"CLOSE";Ch_hc(Ch),Ch_hp(Ch) ! Close the channels
1400    OUTPUT Hp4263B;"*TRG"                   ! L2-R2 measurement
1410    ENTER Hp4263B;S,Meas_l(Ch),Meas_r(Ch)   !
1420    True_l(Ch)=(Meas_l(Ch)-Short_l(Ch))/((1-(Meas_l(Ch)-Short_l(Ch))*Open_b(Ch)))
1430    True_r(Ch)=(Meas_r(Ch)-Short_r(Ch))/((1-(Meas_r(Ch)-Short_r(Ch))*Open_g(Ch)))
1440                                            !
1450    IF Ch=0 THEN Skip_meas                  !
1460                                            !
1470    OUTPUT Hp4263B;":SENS:FUNC 'IMP','VOLT:AC'" ! Meas.mode: L-N
1480    OUTPUT Hp4263B;"*TRG"                   ! N measurement
1490    ENTER 717;S,Dummy(Ch),N(Ch)             !
1500                                            !
1510    IF S=1 THEN                             ! Hcur-Hpot CHANGE for OVLD
1520      OUTPUT Hp3488a;"OPEN";Ch_hc(Ch),Ch_hp(Ch) ! Open channels
1530      Ch_hc(Ch)=201+Ch*10                   ! Hcur channel CHANGE
1540      Ch_hp(Ch)=200                         ! Hpot channel CHANGE
1550      OUTPUT Hp3488a;"CLOSE";Ch_hc(Ch),Ch_hp(Ch) ! Close the changed ch.
1560      OUTPUT Hp4263B;"*TRG"                 ! N measurement
1570      ENTER Hp4263B;S,Dummy(Ch),N(Ch)       !
1580      N(Ch)=N(O)/N(Ch)                      !  N1:Nx=1:0.XX
1590    END IF                                  !
1600                                            !
1610 Skip_meas:                                 !
1620                                            !
1630    PRINT "N";Ch+1;":","L [H]:";True_l(Ch),"DCR [OHM]:";True_r(Ch),"N:";N(Ch)
1640    OUTPUT Hp3488a;"OPEN";Ch_hc(Ch),Ch_hp(Ch)! Open channels
1650                                            !
1660  NEXT Ch                                   !
1670                                            !
1680  Work=0
1690  INPUT "DO YOU WANT TO CONTINUE TO MEASURE?   (1) YES  (2) NO",Work
1700  IF Work=1 THEN Measurement                !
1710  IF Work=2 THEN 1740                       !
1720  IF Work<>1 AND Work<>2 THEN 1690          !
1730                                            !
1740  END
```


アジレント・テクノロジー株式会社
本社 〒192-8510 東京都八王子市高倉町9-1

計測お客様窓口
受付時間 9:00～19:00
（土・日・祭日を除く）
※FAXは24時間受付け

TEL 0120-421-345
(0426-56-7832)
FAX 0120-421-678
(0426-56-7840)
E-mail:contact_japan@agilent.com

電子計測ホームページ
http://www.agilent.co.jp/find/tm

● 記載事項は変更になる場合があります。
ご発注の際はご確認ください。

Copyright 2002
アジレント・テクノロジー株式会社

Agilent Technologies

January 18, 2002

5091-6310JA
0000-03H