تجارب في الراديو....

المحولة The Transformer

تحول الطاقة من جانب إلى آخر بكفاءة مدهشة؛ مغيرة الفولتيات والتيار وتنسّب الممانعات بعد ازاحة قيمها بموثوقية دون الحاجة إلى مجهز طاقة أو دوائر سيطرة. هذه النبيطة (الجهاز) لها شخصية مغناطيسية غير متوافقة في الالكترونيات ... تعرّف على المحولة!

تعلم هذه المصطلحات

Coupling **الاقران أو الترابط أو التواشج** – وهو الدرجة التي تتشارك بها لفات الملف الابتدائي والثانوي مجال مغناطيسي واحد.

Step-down / Step-up **خافضة / رافعة** – الفولتية عبر ثانوي المحولة الرافعة تكون أكبر من تلك على طرفي الابتدائي لنفس المحولة، وهو العكس مع المحولة الخافضة.

Turns Ratio **نسبة اللفات** – وهو نسبة عدد لفات الملف الثانوي إلى الملف الابتدائي.

مدخل

أول محولة كان قد جرى اختراعها بالصدفة، عندما مرر أحد القائمين بالتجريب في الايام المبكرة تيارا في سلك ولاحظ كلما غيّر التيار بالزيادة أو النقصان أن سلك قريب قد التقط بعض الطاقة من السلك الأول. ثم لوحظ أن لف الاسلاك على شكل ملفات يجعل نقل الطاقة أحسن، بعد ذلك لوحظ أن هذا النقل أصبح أجود إذا ما تشارك كلا الملفين بقلب واحد. هذا جميعه يعزى سببه إلى الظاهرة المسماة الحث *inductance*. الباحثين في الايام المبكرة لهذه الابتكارات هم هانز أورستد (١٧٧٧–١٨٥١) من الدانمارك، وميشيل فاراداي (١٧٩١–١٨٦٧) من انكلترا و جوزيف هنري (١٧٩٧–١٨٧٨) من أميركا.

الحث الخاص بالسلك (حث السلك) L هو نتيجة تأثير المجال المغناطيسي في الفضاء حول السلك، المجال المغناطيسي الذي تولد بفعل التيار المار في ذلك السلك، يؤثر عكسيا على التيار الذي ولده أي أن يحث في السلك تيار معاكس للتيار الذي ولده يحاول أن يضعف التيار الذي ولده ويعيق سريانه، وهو شكل من أشكال القصور الذاتي الكهربائي أي بالضبط كما يحدث عندما تحاول قوة ميكانيكية تحريك كتلة ما ستواجه مقاومة من الكتلة المستقرة تعاكس القوة التي تحاول تحريك الكتلة. يهيأ السلك بحيث أن المجال المغناطيسي بإمكانه أن يعمل بفعالية أكبر وذلك بلف السلك على شكل ملف حيث سيمتلك حث أكبر.

عندما يعترض مجال مغناطيسي متغير موصل آخر، سيتسبب في أو سيحث تيارا ليمر ناقلا الطاقة من سلك الى الآخر. هذه المشاركة في المجال المغناطيسي تولد ما يعرف *بالحث المتبادل mutual inductance*. شدة المشاركة (درجة المشاركة) في المجال المغناطيسي تسمى الاقران *coupling*. الملفات التي تتشارك بمعظم مجالها المغناطيسي يصطلح على إقرانها بأنه *إقران وثيق tightly coupling* بينما التي تتشارك بالقليل من مجالها المغناطيسي يصطلح على إقرانها أنه *إقران سائب loosely coupling*. نقل الطاقة بصيغة التيار المتناوب من الملف الابتدائي لتجري الاستفادة منه من الملف الثانوي يشكل تطبيق مفيد جدا وبذا يصبح زوج الملفات أحد المكونات الشائعة والمفيدة في الالكترونيات وهو **المحولة**. ترد المحولات في أشكال وأحجام متعددة وجميعها تشترك في خاصية أنها جميعا لها على الأقل ملفين تتشارك في المجال المغناطيسي المار في القلب. معظم المحولات مصممة بحيث أن الملفات تتشارك الى اقصى ما يمكن نفس المجال كذلك نفس القلب الذي يركِّز المجال داخل اللفات.

أهمية الملف الابتدائي

المحولات بإمكانها أن تنقل الطاقة بين ملفاتها في أي اتجاه كان. والغالب أن المحولة تحرك الطاقة في اتجاه واحد. اللفات التي يجري تغذيتها بالطاقة الداخلة تسمى الملف *الابتدائي primary* والملفات التي تؤخذ منها الطاقة تسمى *الثانوي secondary*. وعلى العموم فإن

المحولة لا تبالي من أي ملف جرى ادخال الطاقة، فهي تعمل في كلا الاتجاهين، ويمكنك إدراجها في دوائر مختلفة وإدخال الطاقة اليها من الملف الثانوي (حسب فولتية الملف الثانوي)، ولا يحدث بسبب ذلك تلف! معظم المحولات يتم إقران ملفاتها بشكل وثيق وبذا يتم تقريبا نقل معظم الطاقة بينهما. فإذا ما قمت بتسليط فولتية لهكذا محولة على الملف الابتدائي الذي يمتلك حث *inductance* مقداره L_1 وقياس الفولتية على طرفي الملف الثانوي الذي له حث *inductance* مقداره L_2، ستجد أن

$$V2 = V1\sqrt{\frac{L2}{L1}}$$

نحن نعلم أن حث الملف يعتبر دالة لعدد اللفات N مرفوعة للقوة 2. فإذا ما كانت الملفات لها قلب مشترك عندها ستكون النسبة $\frac{L2}{L1}$ هي نفسها $\frac{(N2)^2}{(N1)^2}$ وهذا يؤدي إلى:

$$V2 = V1(\frac{N2}{N1}) = n(V1) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

حيث: $n = (\frac{V2}{V1})$

الحرف *n* يشير إلى نسبة لفات الملف الثانوي إلى الملف الابتدائي $\frac{N2}{N1}$ ، المعادلة رقم (1) تقودنا إلى معادلة أخرى مهمة، بسبب أن القدرة تدخل الى المحولة عن طريق الملف الابتدائي فإنه يتعين على *P1* أن تكون مساوية للقدرة الخارجة من الملف الثانوي *P2* (عمليا قلوب المحولات تبدد نسبة مئوية قليلة من الطاقة على شكل حرارة)

$$P1=(V1)(I1) \qquad P2=(I2)(V2)$$

لذا فإن:

$$(V1)(I1)=(V2)(I2)$$

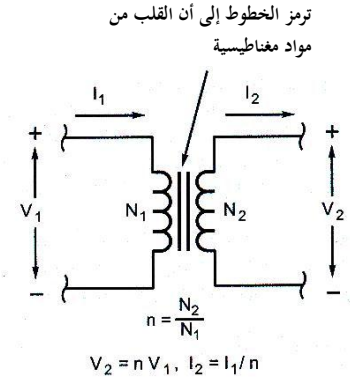
كذلك:

$$V2/V1=I1/I2$$

طالما $n=V2/V1$ *فإنا نعلم كذلك أن*

$$I2=I1/n \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

وبذا فإن *n* تعرف على انها نسبة التحويل *transformation ratio*، وتبين العلاقة بين فولتيات وتيارات الابتدائي والثانوي. الشكل١ يلخص جميع العلاقات الخاصة بالمحولة.



الشكل١
السلوك الأساسي الخاص بالمحولة ممكن أن يدرك من خلال نسبة التحويل n. تصميم الملف الابتدائي والثانوي يدرك من خلال اتجاه القدرة المزمع تحويلها.

تمرين

إذا امتلكت محولة على طرفي ملفها الابتدائي 110V AC وعلى طرفي ملفها الثانوي 12.6V AC، ما هي نسبة اللفات؟

n= V2/V1= 12.6/110V= 0.115

تمرين

أُعْطِينَا محولة لها نسبة تحويل *transformation ratio* تبلغ 0.25، فإذا ما سلطنا فولتية تبلغ 10Vac على الابتدائي ما هي الفولتية التي ستظهر على الملف الثانوي؟

V2= n(V1)= 0.25(10)= 2.5V ac

وإذا ما ظهر لنا بالقياس أن تيارا يبلغ 100mA يمر في الملف الابتدائي، فكم يبلغ التيار الذي يمر في الملف الثانوي؟

$I_2 = I_1/n = 0.100/0.25 = 400$ mA

مغير التروس الكهربائي The Electrical Gearbox

العلاقة الأخرى المهمة للمحولة هي **الممانعة *impedance***، $\frac{V1}{I}$. الملف الابتدائي والثانوي يبدو للدوائر الخارجية كممانعات $Z_1= V_1/I_1$ و $Z2=V_2/I_2$. وبما انه يمكن استعمال n لتحويل V2 إلى V1 و I2 إلى I1 (والعكس بالعكس) فقد ظهرت لنا علاقة جديدة وهي:

$$Z1=Z2/n^2$$

العلاقة تقول أن الممانعة التي يراها مجهز القدرة خاصتي عند وصلة الملف الابتدائي وبسبب الحمل الموصول الى الثانوي يتناسب عكسيا مع نسبة عدد اللفات. وبذا تسلك المحولة أيضا كمغير ممانعة *impedance converter*، بالضبط كما هو الحال مع مغير السرعة الميكانيكي الذي ينقل القدرة بين نسب مختلفة للعزوم والسرع. ولإيجاد نسبة اللفات المطلوبة الخاصة بممانعتين مختلفتين نستعمل العلاقة: $n=\sqrt{\frac{Z2}{Z1}}$

نواحي تأخذ بنظر الاعتبار مع قلوب المحولات:

مقدرة المواد المستعملة في صناعة قلب المحولة على خزن ونقل تغيرات المجال المغناطيسي تتغير مع التردد الذي يتغير وفقه المجال. فمثلا الحديد الطري *Soft Iron* يعمل أحسن ما يكون عند تردد المصدر العمومي وكذلك الترددات السمعية *Audio frequencies*، وعند التردد الراديوي*RF frequencies* يرتفع الفقد في الحديد الطري ويبدد طاقة المجال المغناطيسي، لذا نستخدم سيراميكات الحديد *ferrite ceramics* بدلا منه، كذلك الهواء ممكن أن يخزن طاقة المجال المغناطيسي ويستخدم مع بعض المحولات، لكن القلوب الهوائية تسمح بكثير من طاقة المجال المغناطيسي لتتسرب خارجا بلا فائدة.

وضع المحولة قيد العمل

الاستعمال الشائع للمحولات في مجال الالكترونيات والراديو يتمثل في تحويل القدرة من الفولتية العالية إلى نفس المقدار من القدرة لكن بفولتية واطئة حيث يمكن للترانزستورات والمتكاملات أن تستعملها. وهذا هو الاستعمال الشائع للمحولات حيث نجدها في مجهزات

القدرة *power supplies* والمعدات التي تتغذى بالطاقة من المصدر العمومي. حيث يوصل ابتدئي المحولة الى خط التغذية ذو 110V أو 220Vac والخارج من الثانوي 6V إلى 25Vac يوصل إلى دائرة مقوم حيث يتم تحويل التيار المتناوب ac الى تيار مستمر dc ويجري اقراره *regulated* بدائرة اقرار ليتم استخدامه في الدوائر الالكترونية.

المحولات الرافعة *step up transformers* تقوم بعكس العملية، ترفع الفولتية العمومية إلى فولتية مرتفعة *high voltage* لنستعملها مع المرسلات *transmitters* والمضخمات *amplifiers*.

المحولة يمكن أن تكون خافضة أو رافعة ويعتمد هذا على تصميم الملف الثانوي إزاء الملف الابتدائي.

تنبيه – لا تحاول الحصول على فولتية عالية من محولة خافضة مخصصة للإلكترونيات عن طريق توصيل 110Vac الى الثانوي (لا تفعل هذا أبدا). عازل الملف الابتدائي غير مقنن لعزل الفولتية العالية التي ستتولد وهذا قد يتلف المحولة أو يتسبب في حدوث صدمة كهربائية خطرة!

توفيق الممانعات

تستعمل المحولات كذلك في توفيق الممانعات بين أقسام مختلفة من الدائرة الإلكترونية عند المستوى الواطئ للإشارات.

مثال على ذلك، مضخم سمعي ترانزستور بسيط ممكن أن يمتلك ممانعة خروج تبلغ 1000 أوم، بينما السماعات الجهورية لها ممانعة نموذجية تبلغ 8 أوم. لذا فإن محولة لها نسبة عدد لفات $\sqrt{(\frac{1000}{8})} = 11.2$ ستجعل دائرة الترانزستور تعمل متوافقة مع دائرة السماعة (سعداء مع بعض). وبما إن القدرة غير كبيرة سيكون من الملائم استعمال محولات أصغر بكثير من محولة القدرة.

يمكن للمحولات أن تعزل *isolate* الدوائر الكهربائية وذلك بنقل الطاقة بينها دون الحاجة الى توصيل كهربائي مباشر. وهذا غالبا ما يتم لأسباب تتعلق بالسلامة أو لمنع الضوضاء

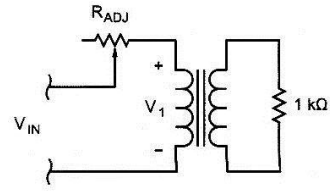
الشكل2

قياس ممانعة الملف الابتدائي لمحولة يتم عن طريق توصيل مقسم فولتية قابل للضبط R_{ADJ} على التوالي مع الملف الابتدائي. فعندما:

$V1=1/2Vin$

حينها يكون

$Radj=Z1$



قيمة Radj تعادل مرتين إلى ثلاث مرات القيمة المتوقعة لممانعة الدخول Rin.

ضبّط Radj إلى أن تصبح V1 مساوية إلى نصف Vin حينذاك تكون قيمة Radj مساوية لـ Rin.

أو إن:

Rin تساوي 1K أوم مقسومة على مربع نسبة التحويل n

noise أو التداخلات *interference* من أن تنتقل بين أجزاء الأجهزة. فإذا ما كنت على سبيل المثال تستعمل الصيغة الرقمية *digital modes* لحزمة *HF* فإن التوصيلات فيما بين جهاز الراديو خاصتك ولوحة الصوت للحاسب ستمر عبر اثنان من المحولات السمعية *Audio transformers* لها نسبة لفات *1:1* لتمرير الخارج والداخل السمعي بدون احداث توصيل مباشر بينهما. وهذا بدوره لا يتسبب في تغيير أي من الممانعات أو الفولتيات.

إيضاح فعالية المحولة Demonstrating transformer action

لهذا الجزء من التجربة، يمكنك إما أن تستعمل محولة قدرة صغيرة أو محولة سمعية. فإذا كانت محولة لها أكثر من ملفين أختر أي من الملفين شئت، وإذا كانت ملفات المحولة لها عدة مخارج استعمل المخرجين ذوي عدد اللفات الأكبر.

- أولا استخرج نسبة عدد اللفات يتم ذلك بتوصيل أحد اللفات إلى مولد دالة *function generator* خاصتك، سلط موجة جيبيه بتردد 100Hz وبعدة فولتيات إلى

أحد الملفين وقس الفولتية الناتجة عبر طرفي الملف الثاني، بإمكانك استبدال الملفات (احلال احدها محل الاخر) إذا كانت نسبة اللفات كبيرة.

- استنادا الى نسبة عدد اللفات، احسب بالعلاقات مقدار الفولتية الداخلة والخارجة، ثم تحقق من حساباتك بالقياس. اصنع نفس الشيء بعد عكس الملفات، الدخول محل الخروج.
- احسب نسبة ممانعة التحويل *transformation ratio*، n^2 فيما بين الملفين. كيف وصلت المحولة؟ هل وصلتها لتقليل قيمة الممانعة؟ جرب هذا بتوصيل المحولة بالكيفية التي تراها موصلة مع المقاومة 1K وقس ممانعة الدخول كما مشروح في الشكل رقم 2 (العملية مشروحة في التجربة # 28 The common base amplifier at www.arrl.org./tis/info/HTML/Hands-On-Radio.)
- بدل الملفات واحسب قيمة التحويل للمقاومة 1K أوم، ثم تحقق من الناتج بالقياس العملي لممانعة دخول المحولة.
- جرب اجراء التجارب مع محولات مختلفة (أو ملفات مختلفة على نفس المحولة) حرك التردد الى منطقة التردد السمعي وراقب الفولتية الخارجة من المحولة على طرفي المقاومة 1K أوم وانظر عند أي مدى للتردد ستعمل المحولة على أحسن ما يكون!

قائمة للتسوق Shopping list

- محولة قدرة *power transformer* من نوع RS 273-1380 أو محولة سمعية مثل RS 273-380.
- مقاومة 1K أوم .

مواضيع مقترحة للقراءة Suggested Reading

موضوع المحولة قد جرى تغطيته في الفصل الرابع للمرجع ARRL hand book 2005 (كذلك في معظم الاصدارات السابقة). تسلح بالمعرفة الجديدة التي حصلت عليها مؤخرا،

واقرأ أيضا حول الفقد losses والمحولات الذاتية Auto transformer. شكرا الى القارئ AF4WM John Nall تتوفر الآن قائمة كاملة للتسوق لجميع التجارب التي وردت تحت Hands-On Radio! بإمكانك تنزيلها من الرابط الذي أشرنا اليه أعلاه. شكرا John!

H.Ward Silver, NØAX

QST October 2005

نقله إلى العربية سرمد نافع