



# nouveau LCR-mètre 50 Hz - 2 MHz (2)

## Fonctionnement, étalonnage et microprogramme

Jean-Jacques Aubry (France)

Le principe de mesure, l'étalonnage du logiciel et le matériel de ce nouveau LCR-mètre ont été abordés dans la première partie de cet article. Ce second volet couvrira l'interface utilisateur, l'étalonnage et la programmation du micrologiciel de l'AU2019.

Dans la première partie de cet article, nous avons vu comment fonctionne l'AU2019, comment il mesure les impédances, les principes d'étalonnage et de compensation utilisés et le matériel nécessaire. Il est temps d'examiner cet appareil du point de vue de l'utilisateur.

### Fonctionnement du LCR-mètre

L'AU2019 peut être utilisé comme un appareil de mesure autonome, grâce à son afficheur LCD, son encodeur rotatif et ses boutons, mais il peut également être commandé par un ordinateur à travers une liaison USB.

### Mode autonome

Si l'appareil est équipé de l'extension d'affichage, il fonctionne sans ordinateur. Utilisé avec une alimentation USB externe de 5 V, il démarre automatiquement dans ce mode. S'il est alimenté à partir d'un PC, mais que vous

Tableau 1.

							50	60				Hz
100	120	150	200	250	300	400	500	600	700	800	900	Hz
1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	kHz
10	12	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	kHz
100	120	150	200	250	300	400	500	600	700	800	900	kHz
1,0	1,2	1,5	2,0									MHz

voulez toujours l'utiliser en mode autonome, vous devrez appuyer sur le bouton du haut avant de l'alimenter (le nouveau mode est mémorisé et aucune autre action n'est requise au prochain démarrage). La même action est nécessaire pour revenir au mode PC.

Lorsque l'écran de mesure est affiché, le bouton rotatif modifie la fréquence de mesure. Les 54 valeurs prédéfinies sont données par le **tableau 1** au bas de la page ci-contre.

Une pression longue sur le bouton rotatif vous permet d'entrer dans le menu de sélection d'une **fréquence utilisateur** (à partir de la fréquence actuelle). Le chiffre à modifier est sélectionné à l'aide des deux boutons supérieurs, et le bouton rotatif change la valeur. Après validation, c'est cette valeur qui est utilisée (elle s'affiche en négatif) et ne peut plus être modifiée par le bouton rotatif.

Une nouvelle pression longue sur le bouton rotatif est nécessaire pour sortir de ce mode. Si la valeur est sauvegardée, elle sera proposée lors de la demande suivante.

Les étiquettes des boutons sont affichées et modifiées en fonction des paramètres que vous choisissez.

Pour certains boutons, l'action est différente selon la durée de la pression. Si elle est longue, l'afficheur clignote brièvement pour signaler que cet état est détecté.

- > Le 1<sup>er</sup> bouton (en haut) permet de changer la représentation des composants : de **AUTO** (mode par défaut) à **SERIES** ou **PARALLEL**.
- > Le 2<sup>e</sup> bouton **[TRIM]** lance la procédure **TRIM pour la fréquence actuelle** (**OPEN** ou **SHORT** selon l'impédance mesurée). Une **pression longue** sauvegarde toutes les actions TRIM effectuées depuis le dernier démarrage.
- > Le 3<sup>e</sup> bouton **[AVG S]** ou **[AVG F]** modifie le nombre de mesures utilisées (moyennage) pour l'affichage des valeurs, et donc la réactivité de l'instrument. Les deux modes d'affichage alternent : **lent** (**Average SLOW**) ou **rapide** (**Average FAST**). Cette fonction n'est apparue qu'avec la **version 2.0.0 du firmware**, mais la plupart des captures d'afficheur avaient été faites avant cette mise à jour !
- > Le 4<sup>e</sup> bouton **[R-HOLD]** fige la gamme actuelle. Une **pression longue** affiche les réglages du LCR-mètre : la plage (R1 à R4), le gain PGA en mesure de la tension (Ux) et de celle du courant (Ix) respectivement (avec x = 1, 3 ou 10).
- > Le 5<sup>e</sup> bouton **[MENU]** : une **pression courte** ouvre le menu des paramètres de

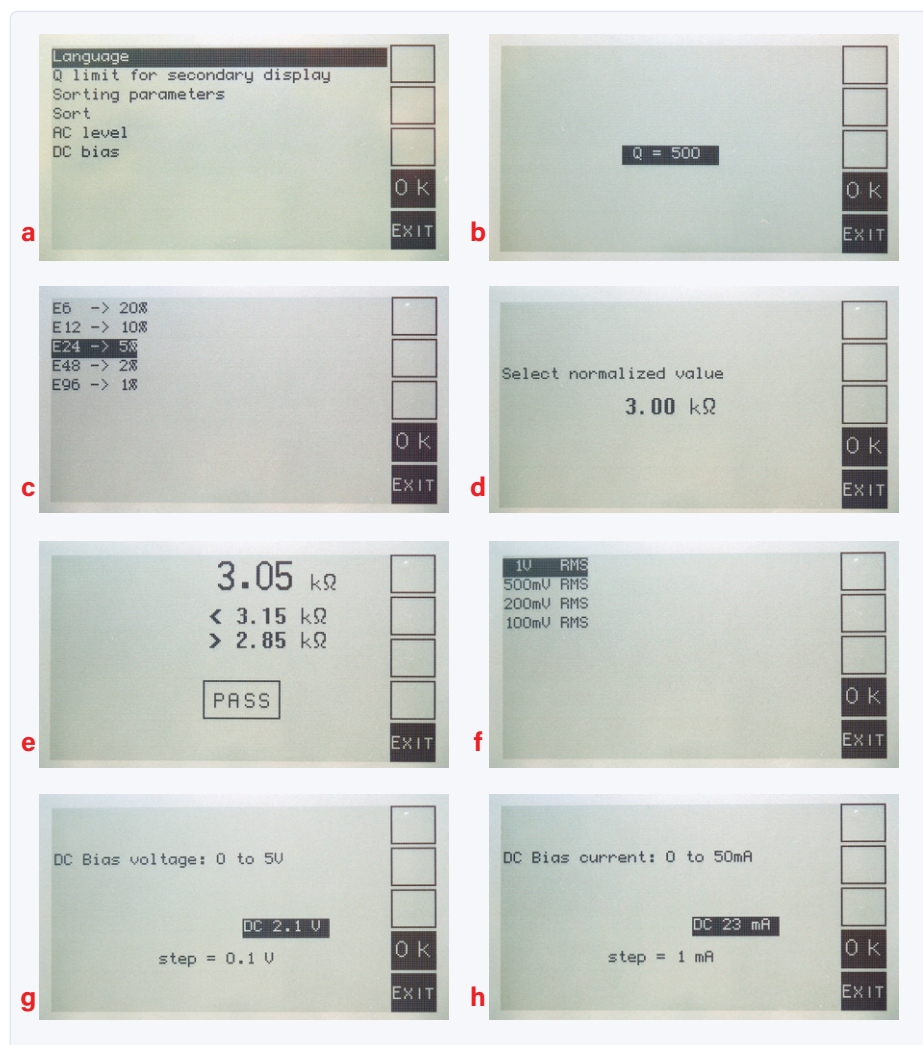


Figure 1. Le menu utilisateur.

mesure de l'utilisateur, une **pression plus longue** ouvre le menu d'étalonnage.

### Menu utilisateur (fig. 1)

#### > Langue (1a)

Langue des menus : anglais, français, allemand et néerlandais (à ce jour)

#### > Q limite pour affichage secondaire (1b)

Choix de la valeur du Q (= 1/D) au-dessus de laquelle le paramètre secondaire n'est pas affiché. Les valeurs possibles sont : 100 200 500 1000 2000 5000 no limit

#### > Paramètres de tri (1c)

Ce menu permet de sélectionner les paramètres (tolérance et valeur) pour le tri des composants. La valeur proposée sera celle du paramètre primaire du composant de référence connecté **avant de passer en mode menu**. Ces paramètres seront mémorisés. La première étape (1c) permet de sélectionner la tolérance

standard, de la série E6 (20 %) à E96 (1 %). La deuxième étape permet de sélectionner la valeur standardisée dans cette série (1d).

#### > Tri (1e)

Ce menu lance la comparaison, avec l'affichage de la valeur mesurée (en haut), les limites supérieure et inférieure, et bien sûr le résultat : **PASS** = succès ou **FAIL** = échec.

#### > Amplitude de la sinusoïde (1f)

Ce menu permet de choisir l'amplitude du signal de test hors charge. Les valeurs possibles sont :

100 mV 200 mV 500 mV 1 V (valeur efficace)

#### > Polarisation continue (1g/h)

Ce menu permet d'ajuster la tension (pour le condensateur) ou le courant (pour l'inductance) de la polarisation continue. Les valeurs possibles sont :

- 0 à 5,0 V, par pas de 1 V ou 0,1 V
- 0 à 50 mA par pas de 10 mA ou 1 mA



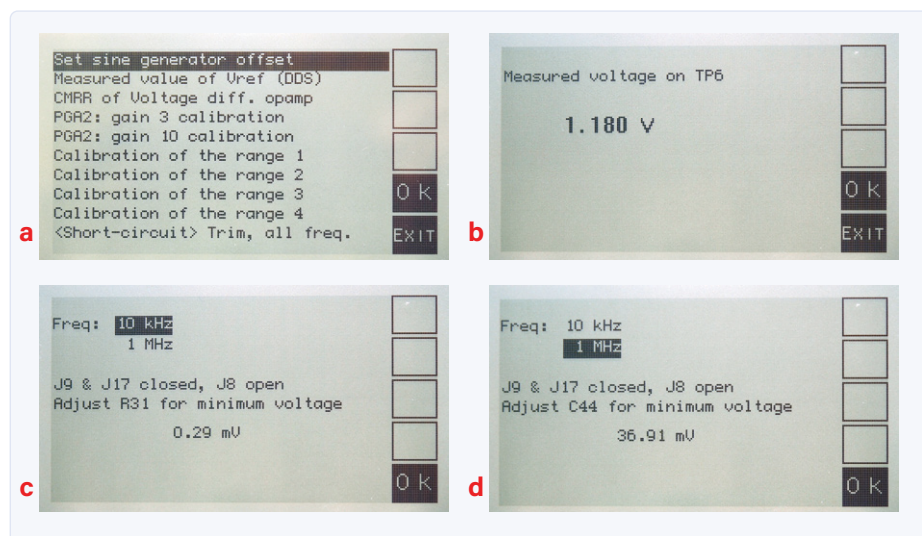


Figure 2. Le menu d'étalonnage.

Une pression sur le bouton rotatif modifie la valeur du pas.

Pour les inductances, après validation et quelques secondes pour la stabilisation, l'intensité réelle du courant est affichée sous l'étiquette <DC>, car elle dépend de la résistance du composant testé. L'étiquette du second bouton change, car le TRIM n'est plus possible avec la polarisation continue. Elle devient *BIAS 0* et le fait d'appuyer sur le bouton désactive la polarisation.

## Menu d'étalonnage (fig. 2)

Toutes les étapes d'étalonnage de l'appareil sont accessibles dans ce menu. Pour un

premier étalonnage, il est recommandé de les exécuter dans l'ordre du menu. Utilisez des cavaliers plaqués or pour éviter les résistances parasites et déconnectez tous les câbles des connecteurs BNC. La procédure complète d'étalonnage est décrite dans la documentation téléchargeable [1]. Elle n'est pas difficile du tout et ne requiert qu'un multimètre, des cavaliers de configuration, un petit outil de réglage... et un peu de patience, car certaines étapes durent plusieurs minutes. Nous n'en donnons ici qu'un aperçu.

- > Décalage du générateur de sinus (2a)
- > Valeur mesurée de la  $V_{Ref}$  (DDS) (2b)

## > CMRR de l'ampli différentiel de mesure $U$ (2c/d)

Les étapes suivantes durent un peu. À la fin de chaque étape, la sauvegarde des nouvelles valeurs doit être confirmée. Veuillez noter que les anciens paramètres seront effacés, même si les nouvelles valeurs ne sont PAS sauvegardées.

- > PGA2 : étalonnage du gain 3 suivi de l'étalonnage du gain 10
- > Étalonnage des gammes 1 à 4
- > TRIM <circuit ouvert>, toutes fréquences
- > TRIM <court-circuit>, toutes fréquences

À la fin de l'étalonnage, retirez tous les cavaliers et connectez les câbles Kelvin ou les appareils d'essai aux connecteurs BNC. Répétez la procédure de TRIM (en circuit ouvert et en court-circuit) pour tenir compte des nouveaux composants parasites.

Avant un test, à une fréquence **donnée**, il est possible et même recommandé d'effectuer les deux corrections TRIM en appuyant sur le bouton correspondant (le second). Les nouveaux paramètres (ainsi que ceux effectués à d'autres fréquences) peuvent être sauvegardés par une pression longue sur ce même bouton.

## Messages d'erreur

Au cours de la séquence de démarrage du microprogramme, certaines vérifications ont lieu. Tout d'abord, le chargeur d'amorçage vérifie l'intégrité du programme en

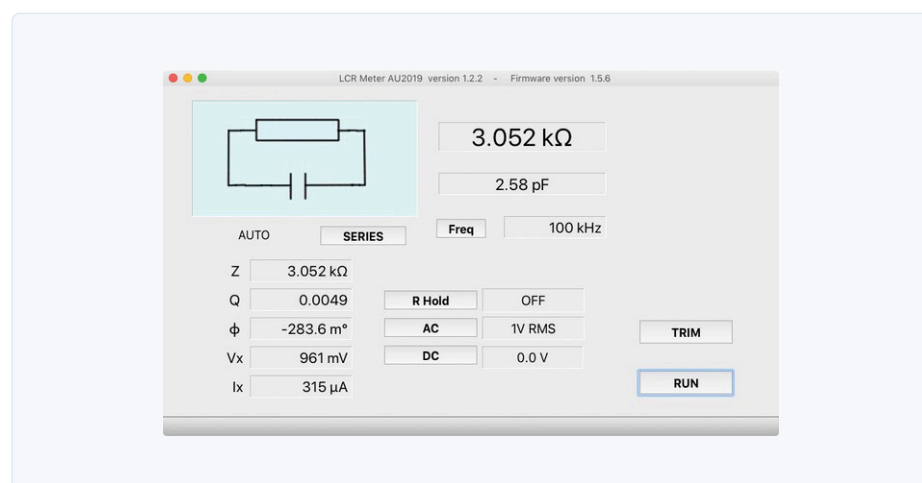


Figure 3. Le LCR-mètre commandé par l'application AU2019

Tableau 2.

Bit	$U_x$	Le bit est à 0 si la tension mesurée est
1	-5V	-5,3V < $U_x$ < -4,7V
2	+5V	4,7V < $U_x$ < 5,3V
3	+3V	2,85V < $U_x$ < 3,15V
4	+6,5V	6,29V < $U_x$ < 6,68V
5	+7,5V	7,30V < $U_x$ < 7,60V

mémoire. Ensuite, celui-ci vérifie la présence en mémoire vive de données linguistiques valides et vérifie les tensions d'alimentation (tableau 2). Si la vérification de l'alimentation échoue, le message *Power supply Test Error, code A* est affiché et le programme tourne en boucle tandis que la LED D12 clignote, allumée pendant ½ s et éteinte pendant 1 s. Chaque bit du nombre équivalent binaire de A indique l'état d'une des tensions d'alimentation vérifiées : 0 si la tension est correcte, sinon 1.

## Mode PC

Démarrez l'appareil en mode PC, il indique *Waiting for the GUI...* et quelques secondes plus tard, lancez le programme AU2019 sur le PC (fig. 3). Dans le menu *Port*, sélectionnez le bon port série, puis cliquez sur le bouton *Open port* (= ouvrir le port). Une fois la communication établie, la version du micrologiciel sera affichée à droite de la version de l'application AU2019 du LCR-mètre. Après un court laps de temps, apparaissent tous les paramètres du DUT (*device under test* = le composant testé). Les boutons agissent comme pour le mode autonome.

Certains menus sont spécifiques au mode PC, d'autres sont les mêmes que ceux du mode autonome, tout cela est expliqué dans la documentation. Il y a également des instructions pour la mise à jour du micrologiciel et du texte des menus. Une description complète se trouve dans le manuel de l'utilisateur [1].

## Comment mesurer ?

Lors des mesures, les cordons entre le composant testé et l'appareil exercent une influence prédominante en fin de plage de mesure et/ou à des fréquences élevées. Une attention particulière sera accordée aux procédures *TRIM*. Pour que la mesure soit précise lorsque le DUT est une inductance de petite valeur ou une résistance, il est important que la compensation de *TRIM*

## COMPARAISON AVEC DES APPAREILS DE MESURE DE FABRICATION INDUSTRIELLE

Pour comparer notre LCR-mètre AU2019 avec des appareils du commerce, il faut disposer de moyens que ni le concepteur ni le labo d'Elektor n'avaient, entre autres parce qu'un LCR-mètre capable de mesurer à des fréquences jusqu'à 2 MHz, ça ne se trouve pas facilement. Grâce au concours aimable de notre auteur Alfred Rosenkränzer dont nos lecteurs apprécient les articles fouillés, le LCR-mètre AU2019 a pu être comparé à un Hameg HM8118, à un HP/Agilent 4263B et à un Keysight U1732A portable. C'est le Hameg qui, avec ses 200 kHz, a la plus haute fréquence de mesure. Les conclusions générales sont les suivantes :

L'AU2019 se présente comme un bon appareil de mesure, avec des difficultés à certains endroits, p.ex. avec de petites selfs à la fréquence de mesure de 100 Hz, qui n'est certainement pas la fréquence idéale pour mesurer de faibles inductances, quand bien même le Hameg et le HP y ont produit des valeurs assez sensées. La précision globale de l'AU2019 est de 1 % et elle atteint 0,1 % dans le milieu de la plage de mesure, avec des conditions de mesure correctes en fonction du type et de la valeur du composant.

La bonne connexion entre le composant et le LCR-mètre est la clé d'une mesure stable. Il ne faut donc surtout pas se priver des câbles Kelvin ni du terminal de test TH26001A 4 que l'on trouve heureusement à bas prix sur eBay, mais il est difficile de dire à quel point la qualité est bonne. L'appareil de test 16047E (même type d'appareil que le TH26001A) est très utile.

*en court-circuit* soit effectuée avec soin juste avant la mesure. Il en va de même pour mesurer une faible capacité, avec dans ce cas la compensation de *TRIM en circuit ouvert*.

## Résistance (fig. 4)

Dans la plupart des cas, les résistances peuvent être mesurées avec un bon multimètre, mais quand il faut connaître l'induc-

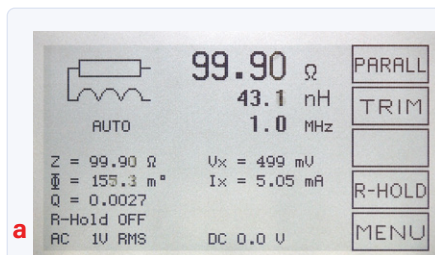


Figure 4a. Mesure d'une faible résistance à haute fréquence.

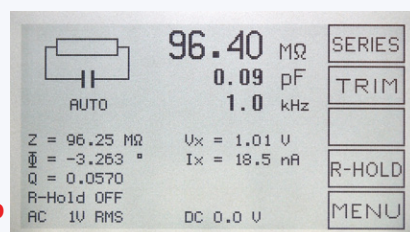


Figure 4b. Mesure d'une forte résistance à basse fréquence.



Figure 5a. Mesure d'un condensateur de faible capacité à fréquence élevée.

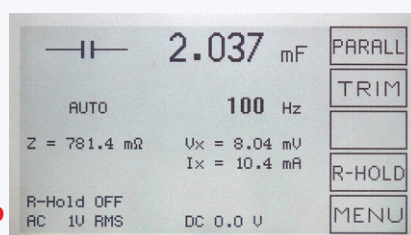


Figure 5b. Mesure d'un condensateur de forte capacité à basse fréquence.

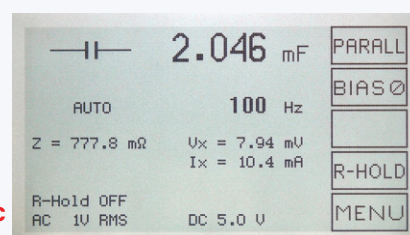


Figure 5c. Mesure d'un condensateur de forte capacité à basse fréquence, avec polarisation continue de 5 V.

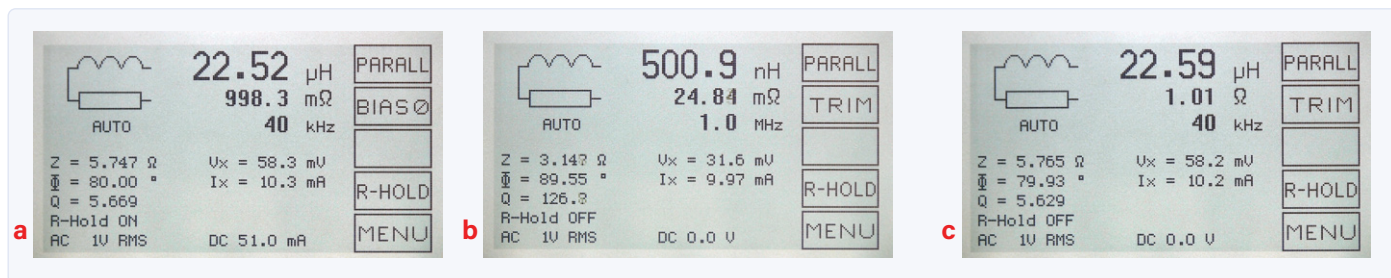


Figure 6a. Mesure d'un inducteur avec un courant de polarisation.

Figure 6b. Mesure d'un inducteur à une fréquence plus élevée.

Figure 6c. Mesure d'un inducteur sans courant de polarisation.

## PREMIER DÉMARRAGE DE L'APPAREIL AVEC MICROCONTRÔLEUR VIERGE

Lors de la première mise sous tension, il vous faut un PC avec Windows, et l'adaptateur de débogage USB de Silicon Labs (p.ex. RS référence 757-0297) pour charger le chargeur d'amorçage dans le microcontrôleur via l'interface JTAG (J15). Vous devez avoir téléchargé le fichier *MergedLCR6.hex*, qui comprend à la fois le chargeur d'amorçage (*boot\_LCR6.hex*), et le microprogramme *LCR6.hex*. Les procédures et instructions complètes figurent dans le manuel de l'utilisateur [1].

## PREMIER CHARGEMENT DU MICROPROGRAMME

Connectez le câble de l'adaptateur de débogage USB à J15 sur la carte et le PC puis mettez SW1 sur ON. Lancez le programme *MCUProductionProgrammer* [3] :

- Dans *Program Menu / Configure Programming Information...* renseignez les différents champs (fig. 7a/b), puis *Accept Settings* (vous pouvez sauvegarder ces réglages par *Save Settings...*)
- Cliquez sur *Program Device* pour lancer l'opération
- Une fois la programmation terminée, apparaît le message *Device Programmed and Verified* dans la fenêtre *Status Log*
- Ensuite, il faut charger les textes pour l'affichage (fichier de langue) en suivant les instructions du manuel de l'utilisateur §4.2.5

Figure 7b. Écran de programmation du MCU Production Programmer de Silicon Labs.

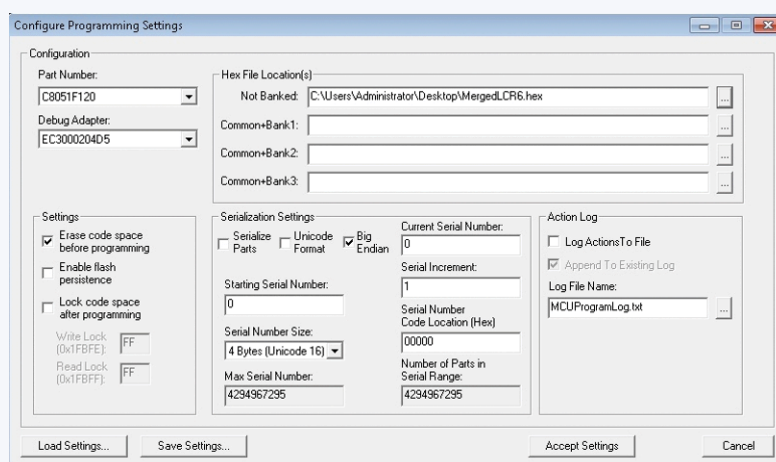
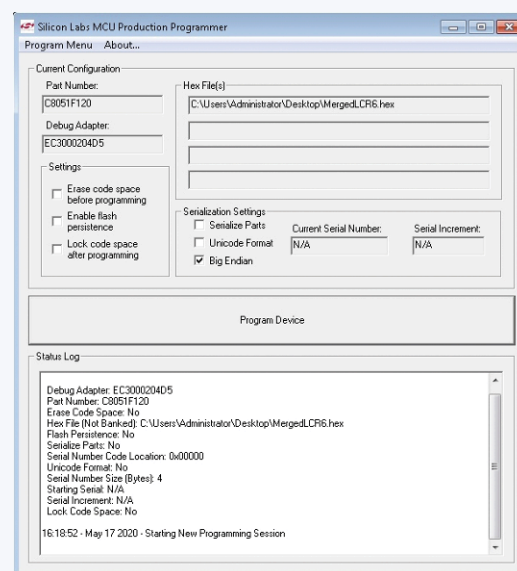


Figure 7a. Paramètres de programmation dans le MCU Production Programmer de Silicon Labs.



## LIENS

- [1] 1<sup>ère</sup> partie de l'article - documentation et téléchargement de logiciels : [www.elektormagazine.fr/190311-01](http://www.elektormagazine.fr/190311-01)
- [2] La page du projet du LCR-mètre sur Elektor Labs : [www.elektormagazine.com/labs/remake-lcr-meter](http://www.elektormagazine.com/labs/remake-lcr-meter)
- [3] Téléchargement du MCU Production Programmer de Silicon Labs : [www.silabs.com/documents/login/software/MCUProductionProgrammer.zip](http://www.silabs.com/documents/login/software/MCUProductionProgrammer.zip)



tance série parasite à haute fréquence d'une résistance de faible valeur, ou la capacité parasite d'une résistance de grande valeur, alors on sort son LCR-mètre.

### Condensateur (fig. 5)

Pour un condensateur, il est possible de superposer au signal de test une tension continue entre 0,0 V et 5,0 V, voir le paragraphe sur la polarisation continue. Le pôle positif de cette tension de polarisation est sur J4/J5. La capacité doit être la partie dominante de l'impédance, sinon le LCR-mètre va mettre automatiquement la tension de polarisation à zéro ! Pour mesurer un condensateur électrolytique de forte capacité à l'aluminium, il est important de choisir une fréquence de test appropriée au composant et qui soit inférieure à sa fréquence de résonance.

### Inductance (fig. 6)

Pour une inductance, il est possible de superposer au signal d'essai un courant continu entre 0 mA et 50 mA (cf. § 3.1.5). Il faut veiller à ce que la tension continue qui règne aux bornes de la résistance interne en raison de ce courant de polarisation reste inférieure à 0,3 V, sinon le circuit de compensation automatique d'offset de l'amplificateur différentiel U7 ne fonctionne plus correctement.

**REMARQUE :** l'application d'une polarisation de 50 mA entraîne une augmentation d'environ 210 mA du courant total consommé par l'appareil. Assurez-vous que votre source d'alimentation peut le fournir.

Pour les petites inductances RF (dont la fréquence de résonance est très élevée), assurez-vous que la mesure est effectuée

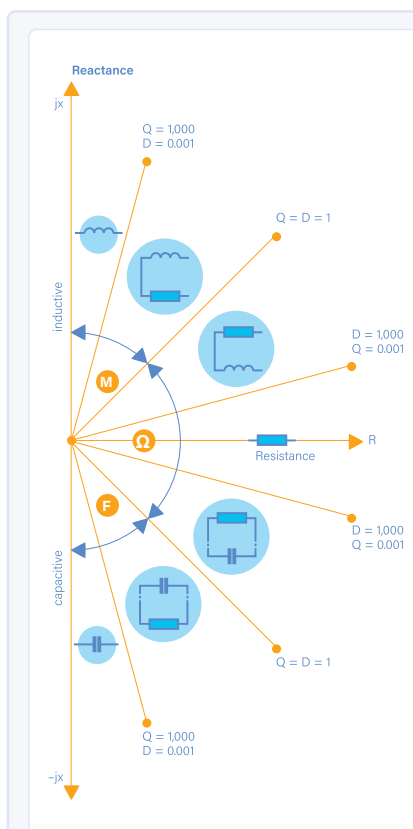


Figure 8. Circuit équivalent basé sur le facteur de qualité et la composante réactive. (source : Fluke)

## DÉTERMINER LE TYPE DE COMPOSANT ET LE CIRCUIT ÉQUIVALENT


Cet appareil est conçu pour mesurer trois types de composants : résistances, condensateurs, inductances. Pour chacun des types, les conditions de mesure sont à choisir en fonction de sa valeur et de son utilisation. Outre la valeur du paramètre principal, qui caractérise le type de composant, celui-ci possède également un paramètre secondaire qui dépend principalement de la fréquence de test. L'appareil évalue la nature du composant sur la base de son équation équivalente :

$$Z = R_s + jX_s$$

à partir de laquelle il calcule le facteur de qualité :

$$Q = |X_s|/R_s$$

En mode AUTO, le critère de décision pour la définition du paramètre principal et du circuit équivalent est la valeur de  $Q (=1/D)$  et le signe de la composante réactive  $X_s$ . Voir la fig. 8 pour la relation entre  $Q$ ,  $X_s$  et le circuit équivalent.

à une fréquence suffisamment élevée, de sorte que la partie dominante du DUT soit vue comme une inductance ! 

190311-B-03

Suivez ce projet sur la page *Elektor Labs* [2], où l'auteur répond aux questions et commentaires.

### Votre avis, s'il vous plaît ?

Vos questions et vos commentaires sur cet article sont bienvenus par courriel adressé à l'auteur [jjacques.aubry@free.fr](mailto:jjacques.aubry@free.fr) ou à [redaction@elektor.fr](mailto:redaction@elektor.fr)

## PRODUITS

### > Elektor "Kickstarter Project":

Kit comprenant une carte mère + une carte d'extension (affichage) + tous les composants [www.elektor.com/lcr](http://www.elektor.com/lcr)



### Ont contribué à cet article

Auteur : **Jean-Jacques Aubry**

Rédaction : **Luc Lemmens, Denis Meyer**

Illustrations :

**Kurt Diedrich, Patrick Wielders**

Mesures comparatives : **Alfred Rosenkränzer**

Maquette : **Giel Dols**