

1 But

Il s'agit de remplacer les régulateurs électromécaniques des motos anciennes, mais aussi de remplacer des régulateurs électroniques modernes, soit qu'ils sont défectueux d'origine (Selectronic, voir <http://www.hackerschicken.eu/brit/ReguloFR.php>), soit qu'on souhaite rajouter des fonctions manquantes (correction de température, limitation de courant, etc).

Eventuellement, il pourra s'agir d'options, les moins importantes pourront ne pas être montées.

Le cas des dynamos à trois balais n'est pas pris en considération ici. Elles nécessitent des études au cas par cas et il en subsiste de moins en moins. Une fois transformées en dynamo deux balais, elles peuvent être reliées à ce type de régulateur (si le champ rémanent de l'inducteur est faible), dans l'autre cas (si le champ rémanent de l'inducteur est fort) il faut rajouter une fonction d'écrêtage voir <http://www.hackerschicken.eu/terrot/Terrot5FR.php>.

1.1 Fonctions à assurer

Choix d'architecture :

- version bobine d'excitation à point commun masse ou dynamo
- version positif ou négatif à la masse
- passage 6-12V

Fonctions, à peu près dans l'ordre d'importance :

- fiabilité
- tension
- limitation de courant
- prise en compte de la température
- diminution des pertes internes (d'où abaissement du régime de conjonction et augmentation de la puissance délivrée)
- protections
- limitation de courant
- sortie voltmètre ou ampèremètre électronique
- prise en compte de l'inductance de l'inducteur

Je vais aussi étudier la possibilité d'utiliser un microcontrôleur.

1.1.1 Fiabilité

Il ne s'agit pas d'assurer une fiabilité de calculateur d'Airbus, mais de mettre en œuvre les moyens d'assurer longtemps un fonctionnement normal sans usure ou vieillissement. J'ai vu trop (un seul serait déjà de trop) de « restaurateurs » qui considèrent que, passé le coin de la rue ou un mois de fonctionnement, ils ne sont plus responsables, surtout si l'utilisateur fait plus de 200km par an : hors garantie, circulez ou passez à la caisse !

Ce n'est pas parce que le prix des batteries a beaucoup baissé (en francs/euros constants) que ce n'est plus la peine de s'embêter à les protéger, hors considérations écologiques. La dynamo ne doit pas être soumise à des contraintes excessives.

Une espérance de vie de 1000 heures (qui sera largement atteinte) me semble à même de survivre à toute moto vintage, donc on exclura enfin la régulation de toute panne ultérieure. La fiabilité est largement supérieure pour les composants et leur utilisation. La fiabilité finale dépendra uniquement de la qualité de l'assemblage, des brasures, des proximités douteuses (par exemple des coins entre deux conducteurs, où peut se loger une particule métallique) des isolations par gaines thermorétractables ou colle epoxy, du soin général de de l'installation sur

la moto. Je ne suis responsable que de la qualité de la conception (l'avait-il bien conçu?)

2 Choix de la tension

2.1 Détermination des conditions de charge de la batterie

Je cherche ici à déterminer des conditions correctes de charge de la batterie au plomb utilisée en moto.

De nombreuses informations circulent sur le web : des stupides, des fausses, et quelques vraies. Les infos relatives aux tensions et courants se trouvent plutôt sous forme de courbes qu'il faut interpréter. Je propose quelques éléments qui me paraissent sérieux, après recoupements et choix.

La batterie fonctionnera à tension de charge « constante ». En fait, en début de charge, l'ensemble générateur-régulateur limite le courant (fonctionnement à courant constant), soit par une fonction de limitation de courant du régulateur, soit par l'abaissement de la tension d'excitation

Il faut tout d'abord connaître les besoins de la batterie

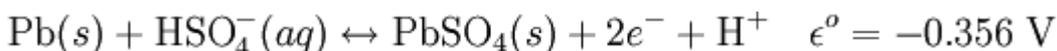
Les « grands » de la batterie (Bosch, Exide, Varta, etc) répondent par un magnifique dédain au particulier, ou par un foutage de gueule non moins grand (discours-type : « la batterie Extra Super est meilleure que la batterie Super Extra », sans jamais dire en quoi elle serait meilleure). Je n'ai trouvé qu'un seul grand de la batterie, Yuasa, qui fournisse des données utilisables.

2.2 Fonctionnement

2.2.1 Electrochimie

Wikipedia (largement recopié sur le Web, sans citation d'origine) nous rappelle que les réactions électrochimiques aux électrodes sont les suivantes :

Anode (oxydation) :



Cathode (réduction) :



Cette réaction s'accompagne d'un échange d'énergie de 363kJ (86800 calories)

La tension est donc de 2,041V par élément soit 6,123V pour une batterie « 6V » et 12,246V pour une batterie « 12V » Wikipedia ne donne pas la température correspondante ni l'état de charge correspondant.

2.3 Types de batteries au plomb

- Selon leur usage on trouve les Batterie de démarrage (moto),
- batterie de traction (nacelles, fenwicks, scooters, vélos),
- batteries stationnaires (centraux téléphoniques, onduleurs).

Elles diffèrent surtout par la forme des plaques de plomb et la capacité à débiter des courants instantanés élevés (démarrage). Les batteries de démarrage et de traction sont utilisées en cyclage , les batteries stationnaires sont utilisées à courant d'entretien (juste suffisant pour éviter l'autodécharge) dit floating ou stand-by.

2.4 Technologie des batteries au plomb

Il s'agit de la technologie électrochimique utilisée dans la batterie.

2.4.1 Batterie conventionnelle

Elle est souvent vendue sèche (pour éviter l'autodécharge et les fuites), on met l'électrolyte à la mise en service. L'électrolyte est « mobile » dans son compartiment. Il se produit avec le temps une stratification dommageable (gradient de concentration d'électrolyte pour une même tension des plaques : selon la hauteur, une partie va sulfater, l'autre va se corroder).

2.4.2 Batterie étanche à recombinaison de gaz

VRLA (valve regulated lead-acid) Lors de l'«ébullition», les gaz (hydrogène et oxygène) produits par électrolyse, se recombinent et forment de l'eau. Si la pression interne devient trop forte, une valve libère les gaz.

- a) au gel (gel de silice)
- b) batterie étanche AGM (absorbent glass mat) remplie de fibres de verre (borosilicate)

2.5 Fabricants de batterie

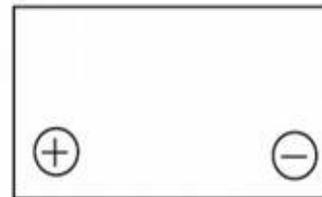
2.5.1 Yuasa

Gamme NP - Batteries plomb sans entretien

NP4-12

SPECIFICATIONS		
Tension nominale	12	V
Capacité en 20h (C20) à 1.75V/élé. (20°C)	4	Ah
Capacité en 10h (C10) à 1.75V/élé. (20°C)	3.7	Ah
DIMENSIONS		
Longueur	90 (±1)	mm
Largeur	70 (±1)	mm
Hauteur		mm
Hauteur bornes incluses	106 (±2)	mm
Poids (typique)	1.75	kg
TYPE DE BORNES		
Casse à languette (type Faston, montage rapide, démontable)	4.7	mm
PLAGE DE TEMPERATURE DE FONCTIONNEMENT		
Stockage	-20°C à +60°C	
Charge	-15°C à +50°C	
Décharge	-20°C à +60°C	
STOCKAGE		
Perte de capacité par mois à 20°C (approximatif)	3	%
MATERIAU DU BAC		
Standard	ABS (UL 94-HB)	
Option flamme retardante (FR)	ABS (UL94-V0)	
TENSION DE CHARGE		
Tension de charge en floating à 20°C	13.65 (±1%)	V
	2.275 (±1%)	V/élé
Coefficient de correction de tension de charge en floating en fonction de la température (à partir de 20°C)	-3	mV/élé/°C
Charge en cyclage (ou rapide) à 20°C	14.5 (±3%)	V
	2.42 (±3%)	V/élé
Coefficient de correction de tension de charge en cyclage en fonction de la température (à partir de 20°C)	-4	mV/élé/°C
COURANT DE CHARGE		
Limite de courant de charge en floating	Pas de limite	A
Limite de courant de charge en cyclage (ou charge rapide)	1	A
COURANT MAXIMUM DE DECHARGE		
1 seconde	120	A
1 minute	40	A
COURANT DE COURT-CIRCUIT ET RESISTANCE INTERNE (selon la norme EN CEI 60896-21)		
Résistance interne	N/A	mΩ
Courant de court-circuit	N/A	A
IMPEDANCE		
Mesurée à 1 kHz	40	mΩ
PERFORMANCES ET CARACTERISTIQUES		
Voir manuel technique	NP	
DUREE DE VIE		
Classification EUROBAT: Commercial Standard	3 à 5	ans
Durée de vie Yuasa à 20°C	5	ans
SECURITE		
Installation Peut être installée et utilisée dans toutes les positions, sauf à l'envers en permanence.		
Poignées Les batteries ne doivent pas être suspendues par les poignées si poignées.		
Soupapes Chaque élément batterie est équipé de soupape pour permettre aux gaz de s'échapper et aussi assurer l'étanchéité.		
Dégazage Les batteries VRLA produisent de l'hydrogène qui, mélangé avec de l'air peut devenir explosif. Ne pas installer les batteries dans une enceinte étanche.		
Recyclage Les batteries VRLA YUASA en fin de vie, doivent être recyclées selon la législation nationale en vigueur.		

Fiche Technique



ISO 9001 - Système d'organisation qualité
 ISO 14001 - Système d'organisation environnementale
 EN 18001 - Système d'organisation hygiène et sécurité
 EN 18001 - Systèmes d'organisation hygiène et sécurité
 UNDERWRITERS LABORATORIES (UL)



NORMES
 IEC61056



TOUTES LES DONNEES PEUVENT ETRE MODIFIEES
 SANS INFORMATION PREALABLE
 Version N°: V.2 / Date de version: Mars 2010



YUASA BATTERIES
 FRANCE
 Zac des Chesnes Ouest
 13 rue du Moreillon
 38070 Saint-Quentin
 Fallavier

www.yuasaeurope.com

NP

Le coefficient de correction en température (donné ici comme linéaire) est indiqué à -4mV par élément, soit -12mV/°C pour une batterie 6V et -24mV/°C pour une batterie 12V.

2.5.2 Powersonic

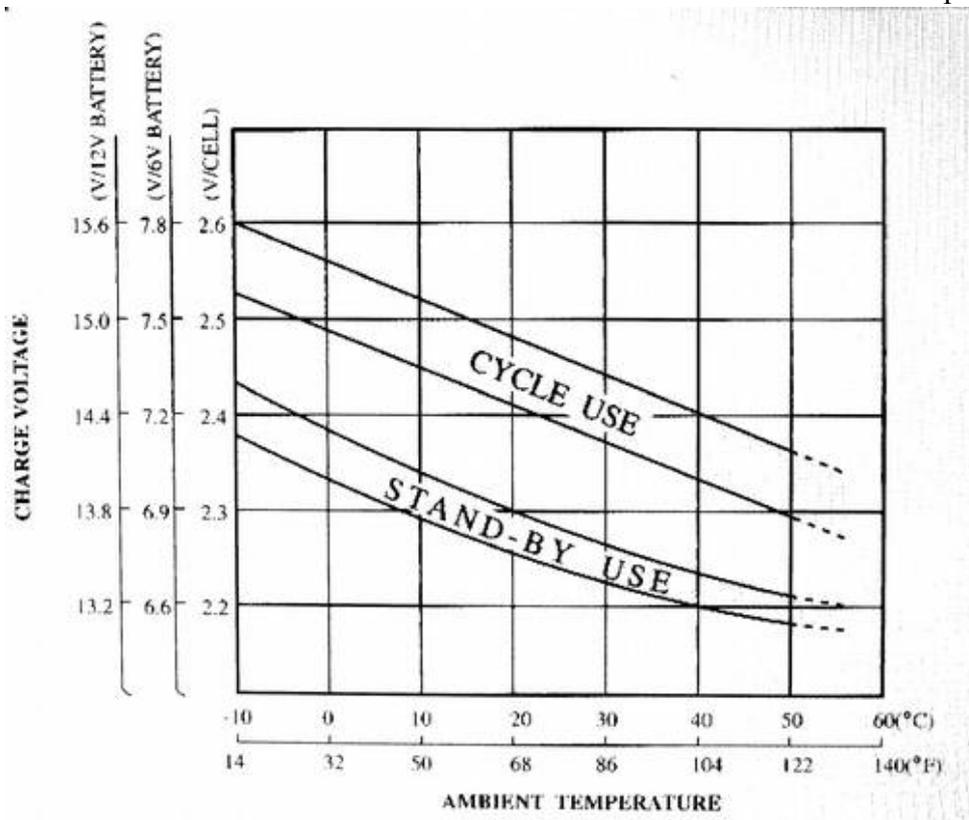
Powersonic, autre fabricant de batteries, publie l'influence de la température pour deux types d'usage cyclique (utilisation moto) et float (centraux téléphoniques)

AMBIENT TEMPERATURE	CHARGE VOLTAGE PER CELL	
	Cyclic use	Float Use
4 °F(-20 °C)	2.67-2.7V	2.34-2.39V
14 °F(-10 °C)	2.61-2.71V	2.32-2.37V
32 °F(0 °C)	2.55-2.65V	2.30-2.35V
50 °F(+10 °C)	2.49-2.59V	2.28-2.33V
68 °F(+20 °C)	2.43-2.53V	2.26-2.31V
77 °F(+25 °C)	2.40-2.50V	2.25-2.30V
86 °F(+30 °C)	2.37-2.47V	2.24-2.29V
104 °F(+40 °C)	2.31-2.41V	2.22-2.27V
122 °F(+50 °C)	2.25-2.35V	2.20-2.25V

Figure 23: Temperature Compensated Charge Voltage

2.5.3 IBT-power

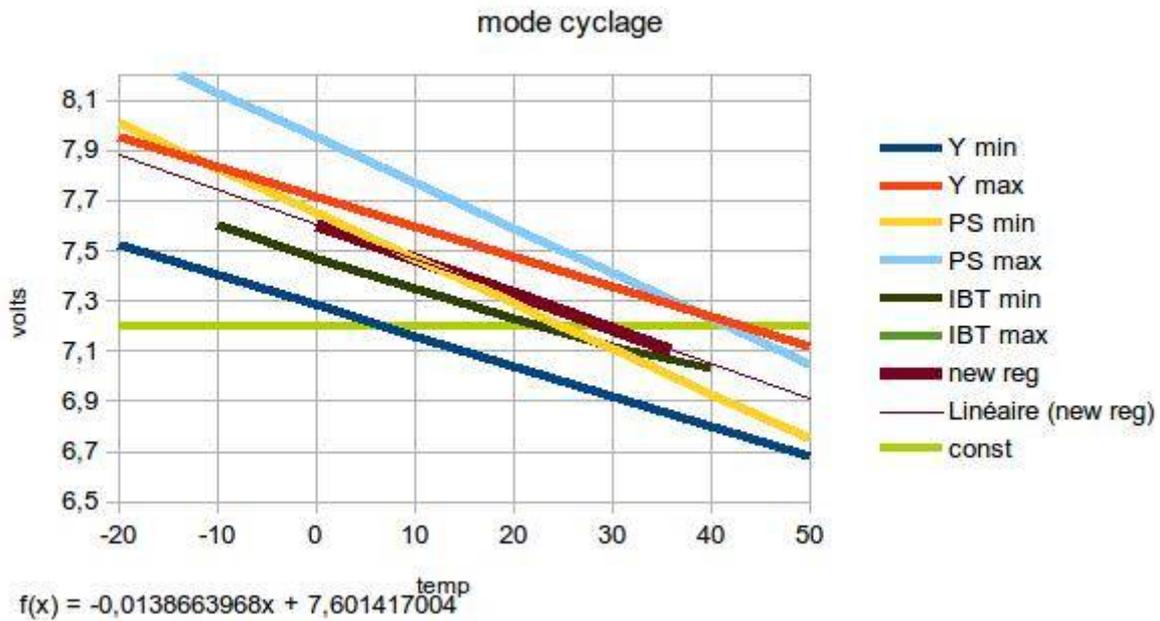
IBT Power, autre fabricant de batteries donne une courbe des tensions en fonction de la température.



L'utilisation stand-by correspond au mode floating.

2.6 Valeurs fabricants

Voici la synthèse des courbes des fabricants précédents



2.7 Technologies de batteries

La tension de la batterie dépend aussi de sa technologie (légèrement) :

State of Charge	Sealed or Flooded Lead Acid	Gel battery	AGM battery
100%	12.70+	12.85+	12.80+
75%	12.40	12.65	12.60
50%	12.20	12.35	12.30
25%	12.00	12.00	12.00
0%	11.80	11.80	11.80

Sealed= batterie étanche (avec valve de surpression appelée parfois VRLA : plomb-acide à valve régulatrice de surpression)

flooded= batterie « classique » avec les plaques immergées

AGM= absorbent glass mat (à absorption de gaz par du verre)

Lead-Acid= plomb-acide

Il s'agit ici de la force électromotrice (fem), mesurée à vide, chargeur déconnecté depuis plus d'une heure.

Ces infos sont sans doute données pour la température standard labo de 25°C.

2.8 Informations sur la charge

2.8.1 DOE-HDBK-1085-95

Document du ministère américain de l'énergie, source supposée sérieuse et données supposées vérifiées. C'est en tous cas la courbe la plus complète.

OPERATION AND CONSTRUCTION DOE-HDBK-1084-95 Lead-Acid Storage Batteries

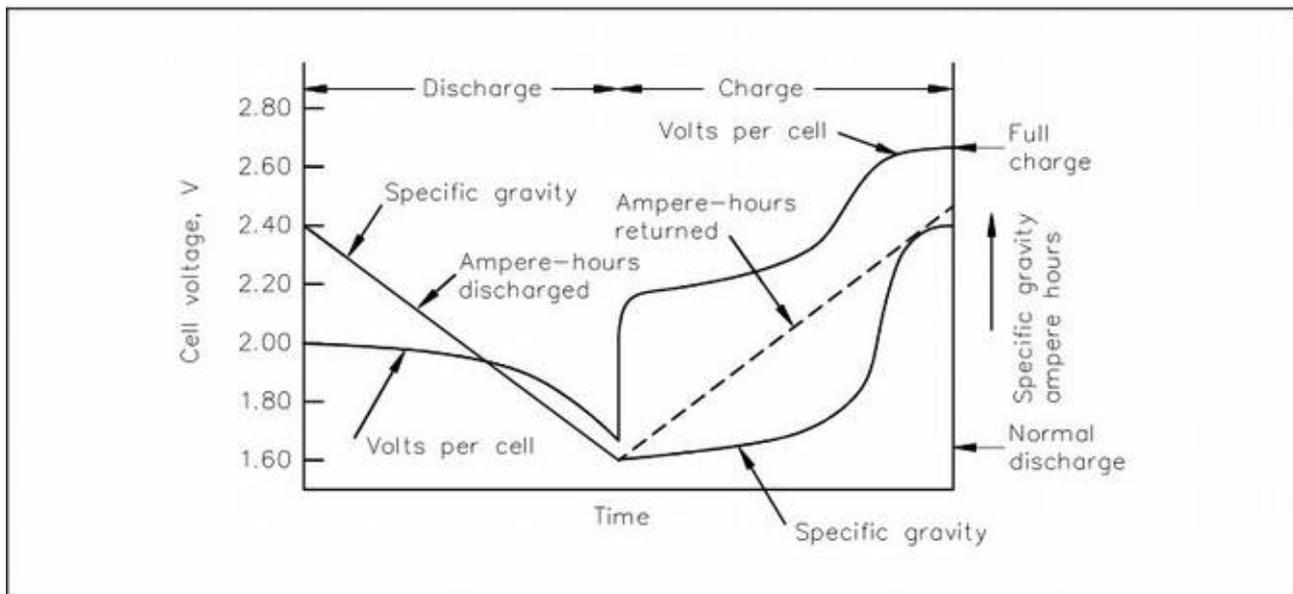


Figure 8. Changes in voltage and specific gravity during charge and discharge.

La tension est relevée par élément de batterie, elle est à multiplier par 3 pour une batterie « 6V » et par 6 pour une batterie « 12V ».

Première partie « discharge » (décharge)

- la tension démarre de 2V par élément (volts per cell) pour une batterie chargée
- la tension descend à 1,65V par élément pour une batterie déchargée
- la densité de l'électrolyte (specific gravity) décroît linéairement, comme l'état de charge
- l'état de charge (appelé par d'autres SOC= state of charge) décroît de 100 % à 0 % (échelle à droite « ampere hours »)

Seconde partie « charge »

- la tension monte, par l'effet du chargeur, à 2,2V en début de charge
- la tension se stabilise à 2,65V en fin de charge
- la densité de l'électrolyte croît de manière non-linéaire en fonction de l'état de charge. Sa valeur finale dépend de l'utilisation de la batterie : 1,30 pour des véhicules électriques, 1,260 pour l'automobile, 1,25 pour les onduleurs, 1,215 pour les centraux téléphoniques)

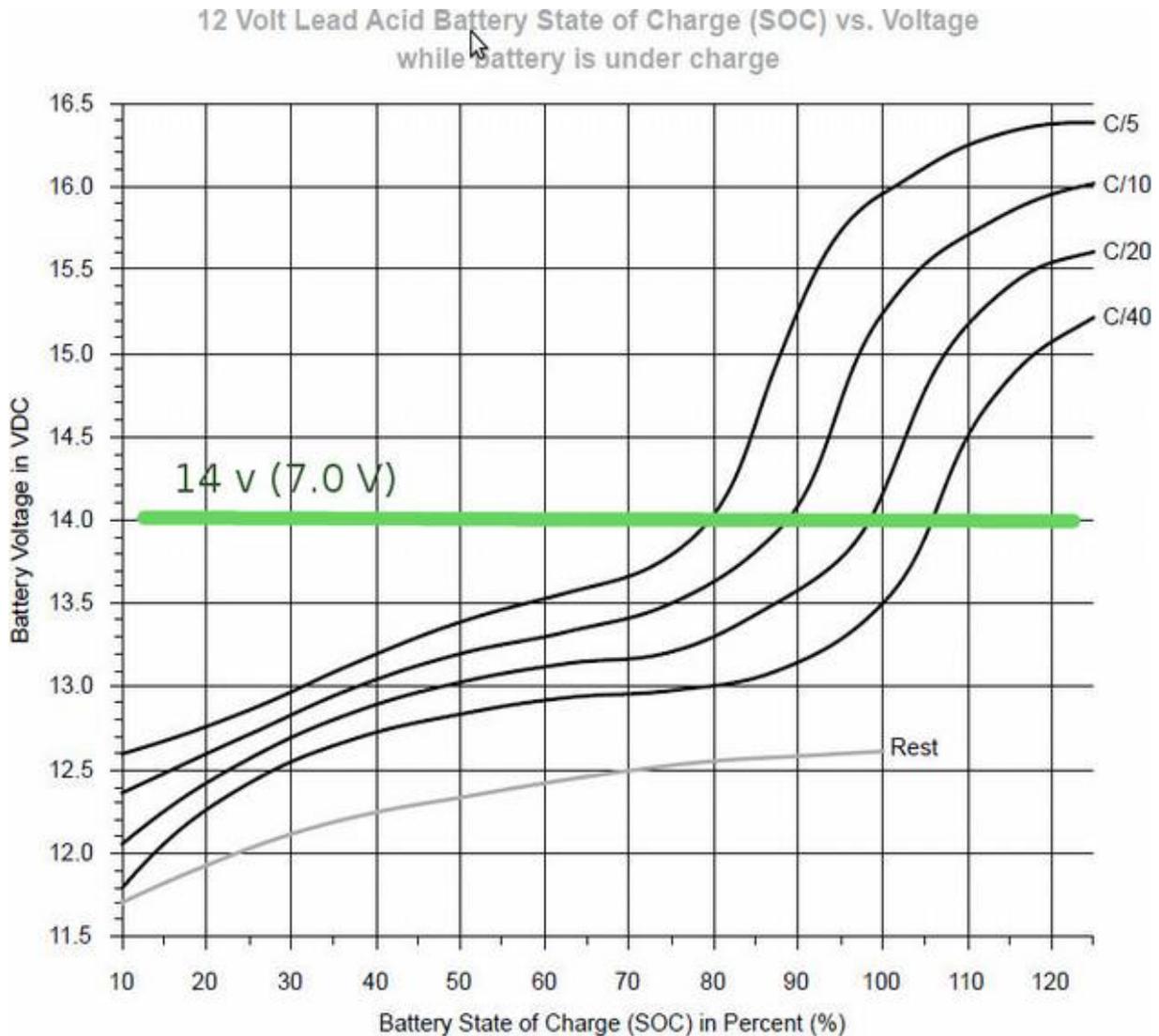
Les valeurs sont arrondies et données pour une température standard labo de 25°C. Pour une bonne longévité de la batterie, la tension ne doit pas descendre en-dessous de 1,75V : ce qui implique qu'on ne doit pas décharger complètement la batterie.

La densité de l'électrolyte est linéaire en fonction de la décharge, ce qui permet l'utilisation de densimètres (à bille lorsqu'ils sont intégrés à la batterie)

2.8.2 Les ingénieurs-plongeurs

R. Perez a publié une courbe intéressante sur un site de plongeurs sous-marins !!

(www.scubaengineer.com/documents/lead_acid_battery_charging_graphs.pdf)



La température n'est pas précisée, elle devrait se situer au standard labo de 25°C.

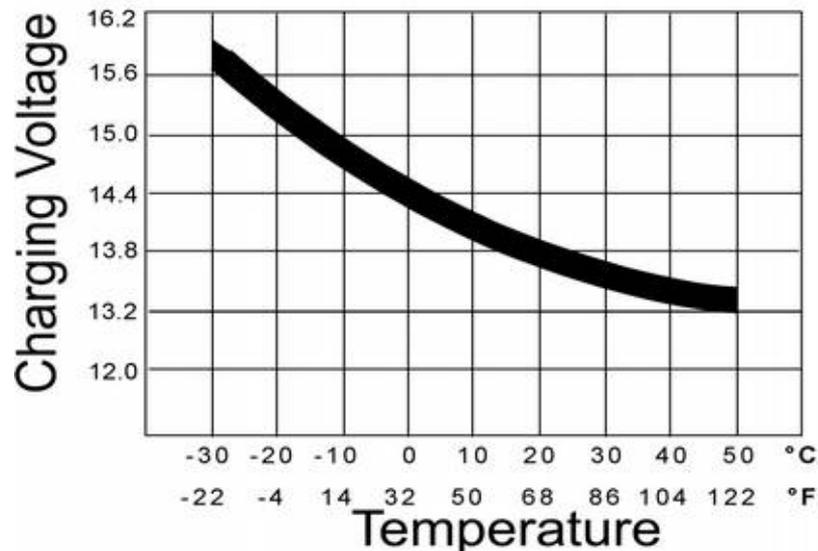
Rest= tension à vide de la batterie (après déconnexion du chargeur et repos >1h).

2.9 Les circuits de charge

2.9.1 Xantrex

Le fabricant de chargeurs Xantrex publie une courbe de l'effet de la température sur la tension de la batterie (ici type gel, pas trop éloignée des batteries moto)

FIGURE 1: Typical voltage/temperature curve for gel cell batteries.



On constate que le coefficient de température dépend à son tour de la température, on voit clairement que la limitation du coefficient thermique à une température supérieure à 20°C comme le publie Yuasa, est insuffisante. Cette courbe donne les tensions pour un régime de floating (13,8V à 20°C) ce qui est normal pour un chargeur.

Cette courbe a l'avantage de mettre en lumière la tolérance de tension : $\pm 0,15V$, ce qui est assez serré.

2.10 Régulateurs

2.10.1 BSA Service sheet 804

Décrit les conditions de charge des régulateurs MCR1 et MCR2

B.S.A. Service Sheet No. 804 (cont.)

Test Data

CUTOOUT	MCR.1	MCR.2
Cut-in voltage	6.2—6.6 volts	6.3—6.7 volts
Drop-off voltage	3.5—5.3 volts	4.5—5.0 volts
Reverse current	0.7—2.5 amperes	3.0—5.0 amperes

Regulator

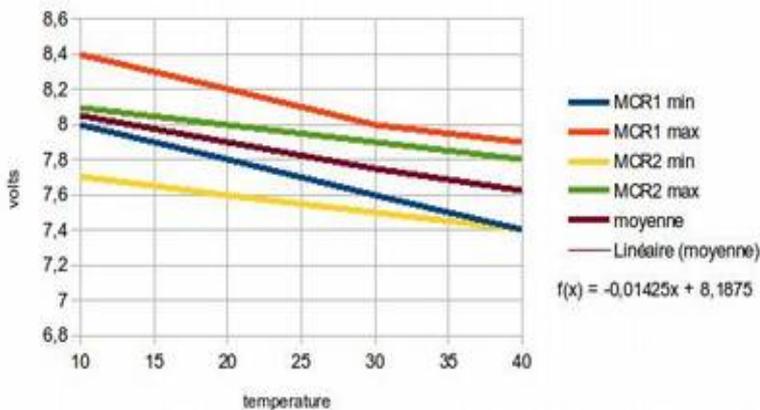
SETTING IN OPEN CIRCUIT

10°C.	50°F.	8.0—8.4 volts	7.7—8.1 volts
20°C.	68°F.	7.8—8.2 volts	7.6—8.0 volts
30°C.	86°F.	7.6—8.0 volts	7.5—7.9 volts
40°C.	104°F.	7.4—7.9 volts	7.4—7.8 volts

Ces valeurs sont confirmées dans la doc de maintenance Haynes de la BSA C11 (RTA anglaise)

Air temperature	Acceptable voltage range
10°C 50°F	7.7 – 8.1
20°C 68°F	7.6 – 8.0
30°C 86°F	7.5 – 7.9
40°C 104°F	7.4 – 7.8

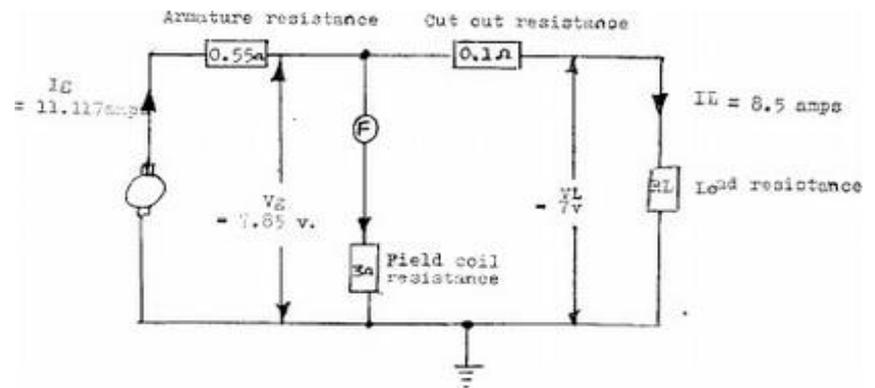
MCR1 MCR2 temp correction



Graphique des valeurs Lucas, et régression linéaire de la moyenne

Schéma équivalent et valeurs internes

Du régulateur MCR2



ATTENTION, ces valeurs sont mesurées à la sortie dynamo (en amont du régulateur) et toutes charges électriques déconnectées, donc pour une machine à allumage batterie-bobine il faut alimenter la bobine par une batterie extérieure pendant la mesure. Ces tensions sont donc plus élevées que sur la machine en fonctionnement normal : 0,85V de différence pour une dynamo E3L et 0,57V pour une E3H ou E3N. **Ces régulateurs Lucas surchargent la batterie lorsque le courant utilisateur diminue**, on retrouve finalement le même type de défaut (en moins marqué, et avec limitation de la tension de sortie max) qu'avec les dynamos à trois balais.

2.11 Explications des choix

2.11.1 Auto/moto

La batterie moto se trouve balayée par l'air ambiant et sa température, hors ralenti à l'arrêt, est celle de l'air ambiant, contrairement à la batterie voiture qui se trouve dans un volume ventilé par l'air chaud du radiateur et chauffé, les choix sont donc fondamentalement différents en ce qui concerne la température.

Les batteries auto sont plutôt des batteries étanches à recombinaison de gaz, ce qui permet une légère ébullition des gaz qui seront recombinés, une légère surpression existe alors dans la batterie. Cette légère électrolyse génère des bulles qui combattent la stratification de l'électrolyte. La stratification fait qu'on trouve un gradient de concentration en hauteur. Pour la même tension des électrodes, la concentration du bas de la batterie est celle d'une batterie surchargée, et la concentration du haut est celle d'une batterie sous-chargée. Le bas souffre de corrosion et le bas de l'anode tombe en poudre au fond, le haut se sulfate (dégradation partiellement récupérable, si elle est prise à temps). Lorsque les résidus de corrosion tombent au fond, ils finissent par diminuer fortement la résistance de fuite parallèle, ce qui fait que l'élément se décharge tout seul bien plus vite que les autres (on parle de « court-circuit » interne), la batterie se transforme rapidement en batterie 4V ou 10V, et lorsqu'on la charge, les éléments restants se trouvent surchargés, avec la corrosion résultante.

Même une moto vintage anglaise ne secoue pas suffisamment l'intérieur de la batterie pour éviter la stratification, il faut un mouvement dans le sens de la hauteur, comme par exemple, une légère ébullition (par surcharge) ou un retournement basse vitesse de la moto. La tension sera alors de valeur « cycling » (cyclage) plutôt que celle de floating. Une légère surcharge (105%) permet l'ébullition légère, recombinée en eau.

2.11.2 État de charge et courant

Pendant la phase de charge à tension constante, la courbe des ingénieurs-plongeurs¹ nous montre que, pour une même tension, on se trouve en fait à différents états de charge et courants. Pour une tension fixe de 14,0V ou 7,0V (à la température des plongeurs, non spécifiée ici), à un courant de charge de c/5 soit 2A pour une batterie de 10Ah, l'état de charge est de 80 %. Comme il y a un courant de charge, la batterie se charge ! Quand le courant atteint un peu plus de c/20 (0,5A pour notre batterie de 10Ah), la batterie est complètement chargée, quand le courant atteint c/40 (0,25A pour notre batterie) l'état de charge est de 105 %: ça y est, elle bout !

¹ En fait c'est une courbe qu'on trouve chez de nombreux auteurs, mais cette source me plaît, allez savoir pourquoi !

Lorsqu'on surcharge légèrement la batterie, on finit par charger aussi les éléments faibles, amenant un rééquilibrage entre les éléments, c'est pourquoi on peut aussi parler de phase d'égalisation.

2.11.3 Tolérances

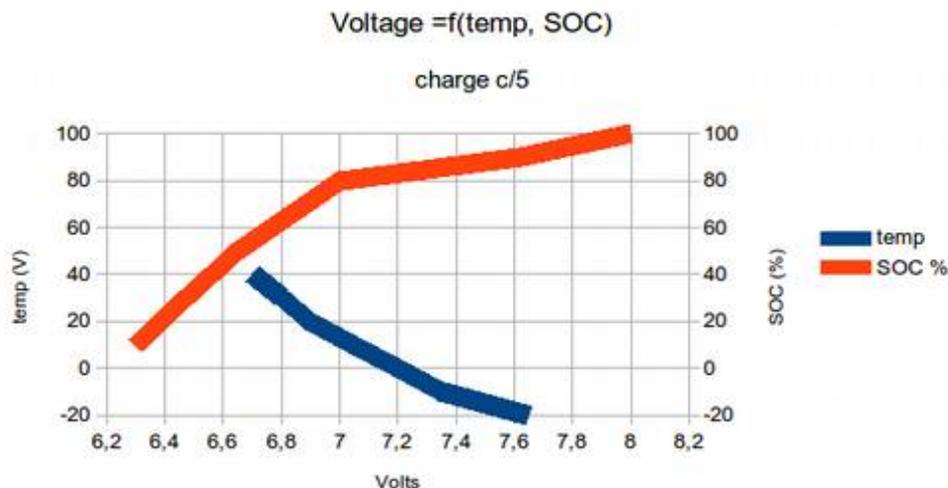
les tolérances sont assez étroites, de l'ordre de 0,05V/élément, soit 0,15V pour une 6V et 0,30V pour une 12V. Dès qu'on en sort, on a sulfatation ou corrosion.

2.12 Effet de la température

Comme toute réaction chimique, la batterie est sensible à la température. Il s'agit d'une sensibilité exponentielle, voir les courbes Xantrex ou IBT float. Beaucoup de fabricants simplifient la courbe par une droite ou des segments de droite, en jouant sur les enveloppes données par la tolérance.

2.13 Effets cumulés

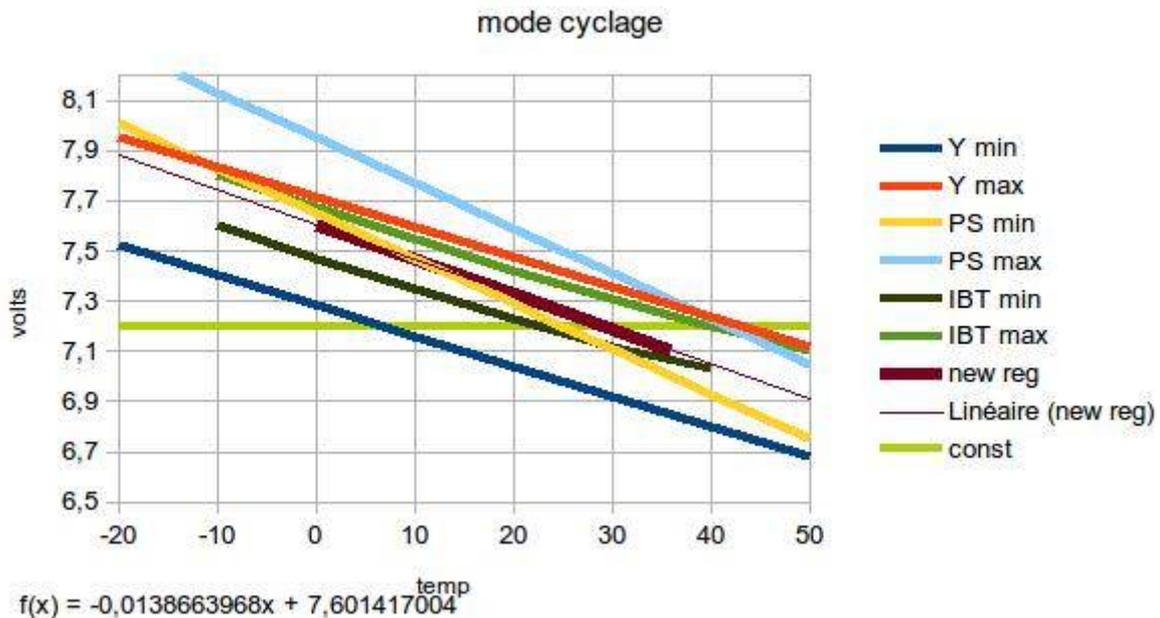
En comparant les effets principaux sur la tension : état de charge et coefficient de température, on obtient le diagramme suivant



L'effet le plus important est bien l'état de charge mais la température est presque aussi importante. On constate que la courbe d'état de charge est bien établie pour 25°C et que le choix de la stratégie de cyclage correspond à un état de charge de 80 % environ quand le courant est fort (au début) puis de 105 % quand le courant faiblit (en fin).

La correction en température

2.14 Choix de régulation non compensée



Basée sur la figure de synthèse

2.14.1 A tension constante.

C'est le mode de fonctionnement de la plupart des régulateurs. Le bon fonctionnement n'est assuré qu'au milieu de la plage, les extrémités entraînent une sous-charge (avec la sulfatation qui l'accompagne) ou bien une surcharge (avec la corrosion qui l'accompagne)

Pour une moto, dont la batterie subit les variations de température de l'air ambiant car les motos avec circuit en 6V ont rarement un carénage et un radiateur qui font monter la température de la batterie :

- **une valeur de 7,2V** (le classique 14,4V des voitures) permet d'être « compatible » avec les valeurs de
 1. Yuasa de 7 à 45°C, sauf que Yuasa ne publie pas ses coefficients en dessous de 20°C
 2. Powersonic de 25 à 40°C
 3. IBT de 20 à 40°C
- **une valeur de 7,3V** est « compatible » avec
 1. Yuasa de 0 à 40°C
 2. Powersonic de 20 à 35°C
 3. IBT de 15 à 35°C
- **une valeur de 7,4V** est « compatible » avec
 1. Yuasa de -13 à 25°C
 2. Powersonic de 15 à 32°C
 3. IBT de 5 à 25°C

La bonne tension constante pour une moto se situerait donc à **7,3V**. Il serait souhaitable d'ajuster pour un régime été et un régime hiver. C'est ce que j'ai obtenu avec le nouveau régulateur (régulateur « Zibuth CV »)

2.14.2 A tension compensée en température

La compensation de température qui passe pour tous les constructeurs et qui permet la charge optimale (ni

sous-charge ni surcharge) correspond à la courbe « new reg » de la figure de synthèse et dont l'équation est de :
 $V = -0,013\theta + 7,6$

C'est ce que j'ai obtenu avec le nouveau régulateur compensé (régulateur « Zibuth Comp »), plus complexe que le précédent et dont je dois encore améliorer la partie assurant l'autoamorçage de la dynamo.

2.15 Choix final de la tension

Les valeurs que je retiens sont :

pour un régulateur à tension constante : 7,3V

en conseillant un ajustement saisonnier (pour utilisateurs qualifiés et outillés)

pour un régulateur compensé $V = -0,013\theta + 7,6$

3 Sources d'énergie électrique

3.1 Dynamo

La dynamo est une machine électromagnétique qui demande de l'énergie mécanique en entrée et fournit une énergie électrique en sortie.

La tension de sortie est linéairement proportionnelle au champ inducteur, lequel est proportionnel (non-linéairement, notamment en raison de la saturation) au courant dans l'inducteur, qui dépend de la tension appliquée, de la température du cuivre, du temps (nous sommes en réalité dans un domaine oscillatoire et la montée du courant est exponentielle). La tension de sortie est proportionnelle au régime moteur, mais est diminuée par des effets parasites : résistance rotor (perte proportionnelle au courant et à la température du cuivre) saturation magnétique (liée non-linéairement au courant)

Une fois amorcée, la dynamo fonctionne en « amplificateur magnétique ». On entre une puissance (un courant multiplié par une tension) et on sort une puissance (courant x tension) plus élevée. Le « gain » est de l'ordre de 4 à 6. L'énergie est fournie par une action mécanique : assurer un nombre de tours suffisant et comme la force d'entraînement dépend de la puissance fournie par la dynamo, c'est une puissance mécanique qu'on fournit à la dynamo. Lorsque le courant d'excitation est fourni par la dynamo elle-même, la tension de sortie est d'abord proportionnelle au régime, puis est limitée par le régulateur.

Les Watts consommés par l'inducteur ne sont jamais mentionnés, heureusement ! La puissance indiquée est toujours la puissance utilisable.

Les électrodes sont classiquement appelées D ou DYN pour la sortie de puissance de la dynamo (issue du rotor, « armature » chez Lucas), l'autre électrode est l'excitation (inducteur ou Field chez Lucas) EX ou IND ou F ou FIELD. La dernière électrode est toujours la masse métallique de la dynamo, reliée électriquement à la masse de la moto.

L'excitation est toujours assurée par un bobinage connecté en parallèle au rotor (enfin lors de la puissance max). Pour ne pas utiliser quatre fils, on a simplifié le câblage : un fil du rotor est relié à la masse métallique de la dynamo et un des deux fils du bobinage d'excitation est relié à l'intérieur de la dynamo, soit à la masse soit à la sortie dynamo. Lucas dans ses dynamos E3x a son point commun à la masse, donc plus on rapproche le potentiel de la borne F de celui de la borne D, plus on augmente le courant d'inducteur et plus on augmente la puissance délivrée.

Certains appellent excitation positive la dynamo dont le courant croît quand la tension de l'inducteur devient de plus en plus positif, mais la même dynamo dont on a simplement inversé le champ rémanent devient alors une dynamo à excitation négative. Le moins ambigu me semble donc de décrire la position du point commun.

Il n'y a pas de motos à dynamo à inducteur série ou compound (inducteur en série avec le rotor, ou mélange série/parallèle)

Le bobinage est divisé en une à quatre bobines partielles : on a une à quatre pièces polaires.

Le nouveau régulateur est prévu pour les dynamos à excitation parallèle (shunt), à point commun excitation-rotor à la masse, et positif à la masse.

3.2 Alternateur

L'alternateur moto récent ne nécessite pas la création de nouveau régulateur

- triphasé à la japonaise, il fonctionne bien sauf s'il n'y a qu'un seul thyristor, auquel cas je conseille de rajouter les deux manquants <http://www.hackerschicken.eu/suzuki/suzukFR.php>
- alternateur triphasé type auto (sur les gros cubes) régulateur incorporé, pas touche !

Les alternateurs Lucas sont plus problématiques, Lucas n'a pas voulu faire comme les autres (enfin pas pu, à son époque) et n'a pas adopté l'alternateur triphasé, ce qui a conduit à des solutions techniques « exotiques ». Les premiers alternateurs pratiquaient une régulation à la main, par allumage des lampes, les suivants, un écrêtage par une diode Zener, puis par deux Zener, c'est alors une hérésie technique qui exige un appariement précis des diodes.

Il n'y a pas de régulateur moderne (à ma connaissance) pour les premiers alternateurs. On pourrait peut-être leur donner un coup de main.

4 Les indicateurs

4.1.1 Ampèremètre

4.1.2 Voltmètre

4.2 Voyant de charge

Le voyant de charge est une simple lampe montée entre la sortie dynamo et la batterie. Elle indique donc normalement que la tension dynamo n'a pas encore atteint la tension de batterie. Comme il s'agit d'une lampe à incandescence, elle ne brille plus quand la tension se rapproche de la tension batterie, on ne sait donc pas le moment exact du début de la charge.

Puisque la lampe est un organe non polarisé, elle peut s'allumer aussi (faiblement) lorsque le régulateur coupe la liaison dynamo-batterie lors d'une surcharge de courant.

5 Le régulateur électromécanique, analyse de l'existant

Le modèle classique qu'il faut au moins émuler est le Lucas MCR1 ou MCR2 pour dynamo 6V positif à la masse (positive earthed). Les autres marques fonctionnent identiquement à la polarité ou au courants/tensions près.

5.1 Photos d'un MCR1



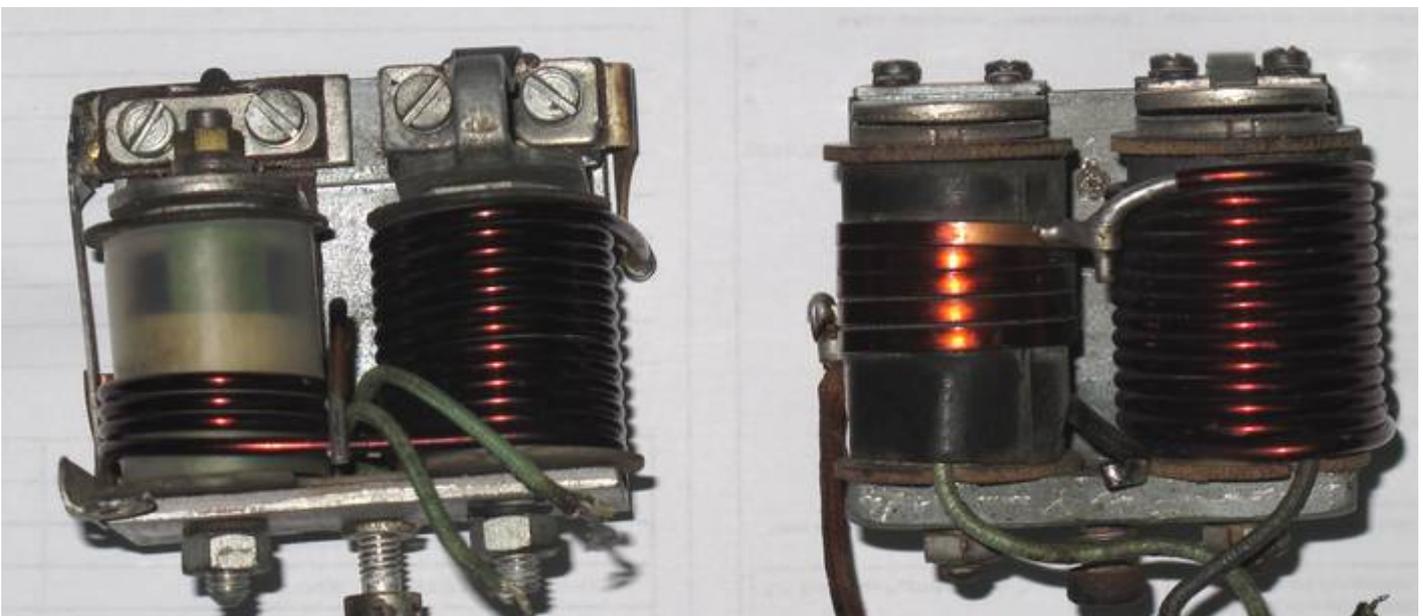
C'est un régulateur à deux bobines, l'une sert à régler la tension (voltage) à gauche de la photo, l'autre à la jonction (Cut-Out ou conjoncteur-disjoncteur), à droite de la photo.

Pour faciliter la compréhension on parlera pour la bobine de régulation de bobine série régulateur et shunt régulateur, pour la bobine de conjoncteur-disjoncteur de bobine série conjoncteur et de bobine shunt conjoncteur.

Autour de chaque noyau deux bobines identiques sont placées, générant un champ en fonction de la tension dynamo : bobines shunt régulateur et bobine shunt conjoncteur.

5.2 Photo des MCR1 et MCR2

Démontés de leur support



Ces régulateurs Lucas ont un mode de réglage par translation des vis et blocage par écrous qui fait que les contacts restent bien parallèles dans la plage normale de réglage. C'est un plus pour la longévité des contacts, et cela fait contraste avec les régulateurs qu'on règle en tordant les pièces (voitures populaires françaises des années cinquante et sixties). Les deux bobines shunt sont placées sur le même châssis-support, les palettes sont séparées pour la bobine de régulation et pour la bobine de conjonction.

Compte tenu du grand nombre de rotations prévues (la palette de régulateur oscille de 50 à 200Hz, soit un million de battements en une heure et demie) les axes ne sont pas faits par des pivots mais par des axes virtuels à lames comme dans les horloges comtoises : l'angle de débattement de la palette est faible et l'angle par unité de longueur de lame est très faible et reste bien loin dans la zone de déformation élastique.

5.2.1 MCR1



Lame-axe virtuel de la palette de régulation, on devine la seconde moitié lames-axe virtuel de la bobine de conjoncteur



Contact de régulation

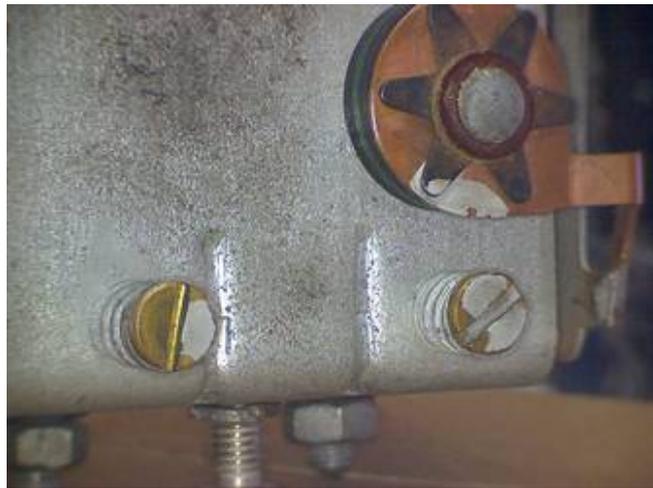
contact de conjonction



Lame-ressort et bilame, réglage de régulation

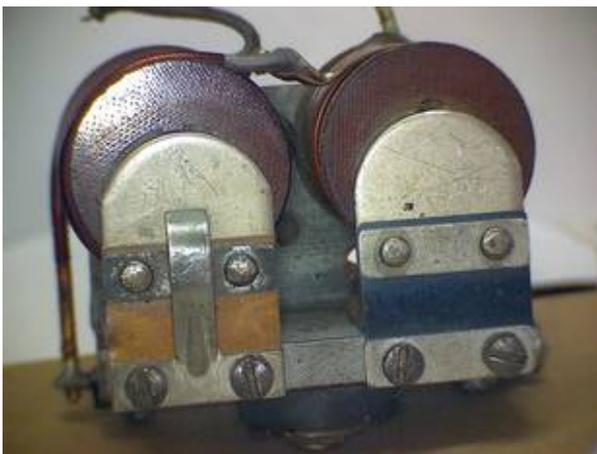


bilame et réglage de conjonction



Résistance (pastille noire avec filet de peinture verte) montée par serrage élastique. Les vis de réglage sont freinées par ressort.

5.2.2 MCR2



Lames-axes virtuels. La lame du joncteur est en alliage jaune bonze au béryllium ? (qui a permis une déformation sur



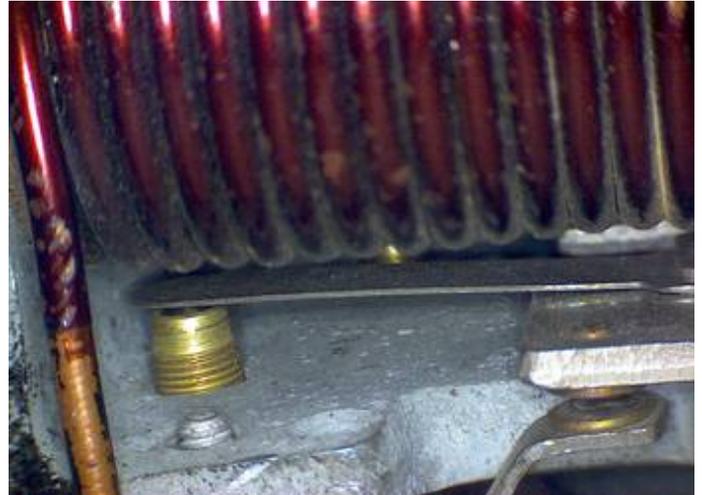
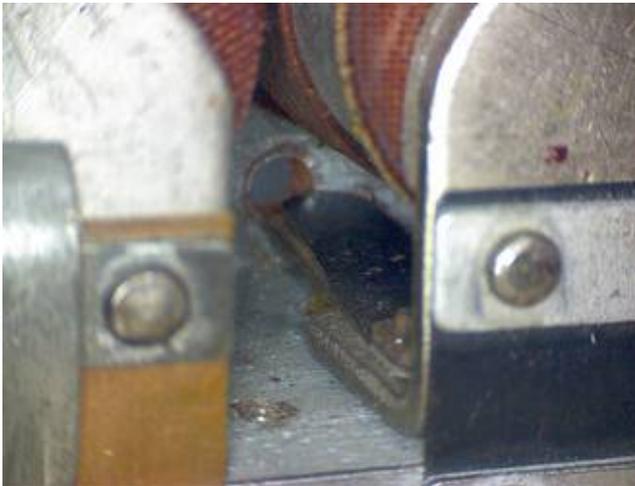
sa gauche). La lame du régulateur est en acier.

Les vis de réglage et contre-écrous de tension des ressorts. La résistance d'appui. pastille montre sa surface dorée de contact, dans les trous du ressort



Contacts du régulateur. Le fil cuivre de limitation de courant est de section rectangulaire.

Contacts du conjoncteur. On voit la déformation (manipulations ?) de l'axe virtuel



Bilame-ressort du régulateur.

Bilame-ressort de conjoncteur avec sa vis de réglage.

5.3 Régulation de tension

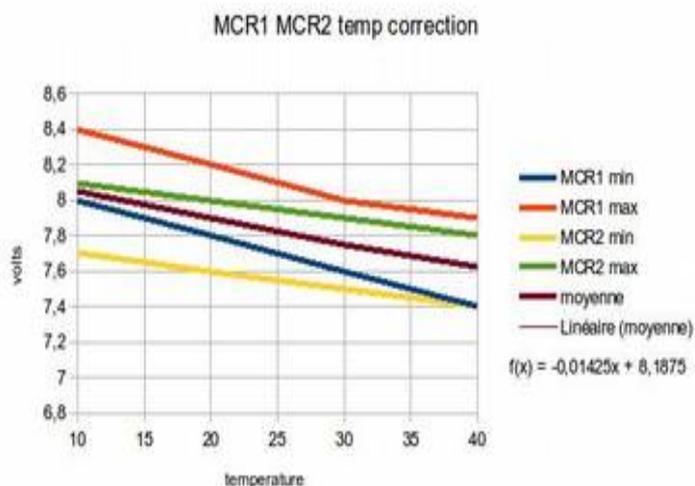
Quand la tension est inférieure à la tension de consigne, le champ magnétique de la bobine shunt régulateur est insuffisant pour attirer la palette : le régulateur assure le contact D-F (contact type repos, n.c. Chez Lucas) donc assure le passage de courant dans l'inducteur, ce qui crée du courant dans le rotor. Dès que le champ est suffisant (la tension atteinte), le contact s'ouvre, le courant d'inducteur s'arrête, la tension de sortie retombe. Le fonctionnement normal est une oscillation de 50 à 200 Hz environ et qui correspond à la montée exponentielle du courant d'inducteur jusqu'à obtenir la tension de sortie souhaitée. Le ressort de rappel est modulé par un bilame pour la compensation en température. Une bobine de 4-5 spires de gros fil entoure la bobine shunt régulateur pour la limitation de courant.

5.4 Conjonction (Cut-Out)

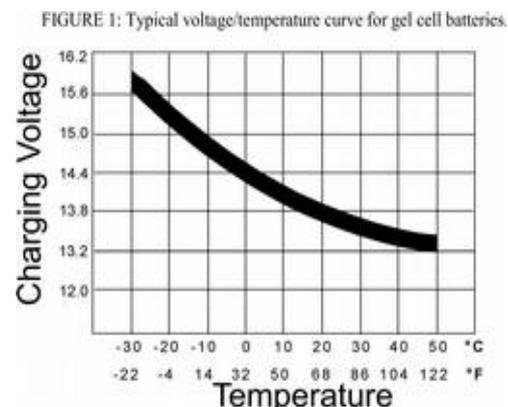
Une bobine sensible à la tension est montée entre borne dynamo et masse (bobine shunt conjoncteur), la même bobine en fait que la bobine tension sur le régulateur. Le courant du rotor n'est donc débité vers la charge (batterie et lampes) que lorsqu'une tension suffisante est mesurée, avec modulation en fonction de la température et de la valeur du courant (bilame et gros fil). Ce contact est affublé d'une hystérésis² important par nature puisque au repos, la palette magnétique est éloignée du noyau et exige un courant relativement plus important ; une fois la palette attirée, elle touche le noyau et le courant devra être beaucoup plus faible pour décrocher la palette. Ce courant plus faible correspond à une tension très basse et plus faible que la batterie, la batterie se décharge alors dans le rotor, ce qui le ferait griller assez facilement. Il y a donc une bobine (bobine série conjoncteur) d'une douzaine de spires de gros fil autour de la bobine shunt, en série avec la bobine série régulateur, parcourue par le même courant : le courant de sortie dynamo. Son rôle est de fournir un champ contraire au champ de la bobine shunt : on annule ainsi (voire on inverse) le champ, et le circuit est coupé dès détection du passage de courant dans le sens batterie-rotor, il faut revenir à une tension suffisante pour laisser passer le courant dynamo. Le ressort de rappel est aussi modulé par un bilame pour la compensation en température.

5.5 Compensation en température

Lucas a mis des ressorts de rappel avec bilames sur les deux bobines, ce qui introduit une compensation en température pour se rapprocher de la variation naturelle (et importante) en température des batteries au plomb-acide.

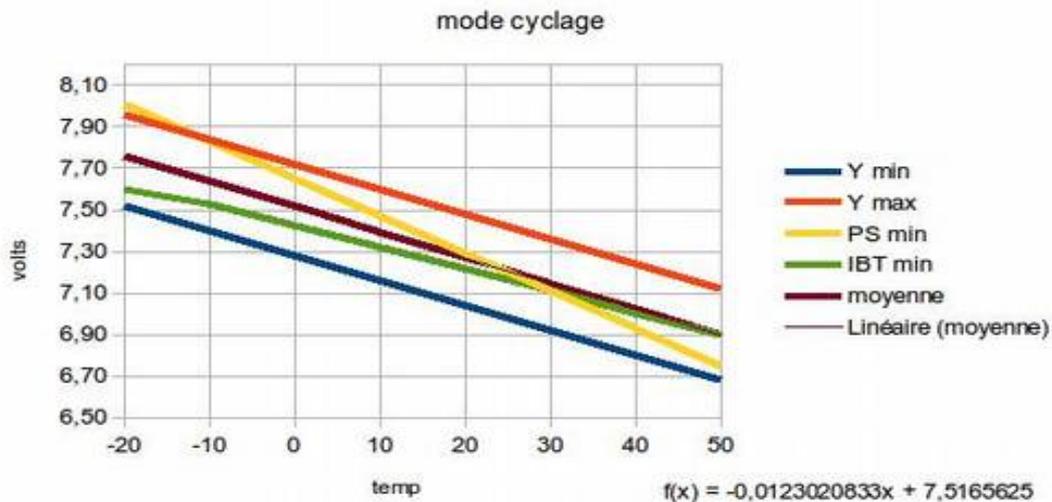


courbe de température Lucas, mesurées en sortie dynamo



courbe de température de chargeur float batterie 12V gel

2 Hystérésis : nom féminin, décrit le changement d'état d'un système quand sa sortie dépend de son entrée, mais aussi de la « mémorisation » de son état antérieur. Son changement d'état ne se passe pas au même niveau en « montant » qu'en « descendant »



Y = batterie Yuasa (ramené en 6V) IBT = batterie Innovative Battery Technology PS = batterie Power Sonic

Une particularité de Lucas est que la mesure est faite sur la borne D, toutes lampes et batteries déconnectées, la tension est donc plus forte que la tension batterie, peut-être parce que la tension dans cette mesure « à la Lucas » est un peu plus stable, car non affectée par les vibrations du régulateur et leur effet sur le courant dynamo. Lucas ne publie pas la correspondance courant-tension. On peut supposer un comportement purement ohmique, donc pour une dynamo E3L, la tension batterie serait plus basse de 0,85 V à plein courant, pour une E3H ou N, la tension baisserait jusqu'à 0,58 V à plein courant. La tolérance semble être de $\pm 0,4V$, nettement plus que ce qu'autorisent les fabricants de batteries.

5.5.1 Effets du cuivre

Un autre phénomène est sensible à la température, c'est l'augmentation de la résistance du cuivre, de 0,4 % par degré. Les bobines ont de plus un échauffement naturel lors du passage du courant. Cet échauffement diminue le courant dans la bobine et donc le champ magnétique lorsque la température augmente, il faut donc augmenter la tension pour ré-obtenir le même champ magnétique. Cela correspond à un coefficient de température positif, contraire à celui demandé par les batteries, à compenser d'autant plus par les bilames. C'est pourquoi Lucas demande un temps de stabilisation.

5.6 Limitation de courant

La bobine du régulateur de tension est entourée de 4 ou 5 spires de gros fil (le même que pour la bobine de cut-off, mais enroulées dans le sens opposé et les bobines de tension sont certainement les mêmes), il y a (service sheet 804) diminution de la tension de régulation en fonction du courant débité. On peut penser que l'augmentation de courant diminue la tension de cut-out (non précisé dans les docs)

5.7 Conjonction

La tension de conjonction établie par la bobine de cut-out est de 6,3 à 6,7V La tension de relâchement (hystérésis) est de 4,5 à 5V ce qui autorise un courant inverse (de la batterie vers la dynamo) de 3 à 5A (Lucas Workshop L3A) ce qui autorise une certaine décharge de la batterie au ralenti avant que le cut-out ne déclenche ! Mais il est sûr que dans ces conditions, il n'y a pas de chances d'oscillation de la bobine de cut-out.

La conjonction simplifiée (par diode Schottky) évite au moins la décharge.

5.8 Différences MCR1/MCR2

Les régulateurs MCR1 et MCR2 sont fonctionnellement identiques, mais différents par le courant prévu. Le MCR1 est prévu pour la dynamo E3N ou E3H (6V, 40W, 5,8A) le MCR2 est prévu pour la dynamo E3L (6V, 60W, 8,6A). Les gros fils sont différents MCR1 gauge 12 : diamètre 2,05 mm, section 3,31mm², MCR2 gauge 13 diamètre 1,83 mm section 2,62 mm².

Les deux bobines de tension sont identiques dans chaque régulateur :

- MCR1 28Ω fil de gauge 33 (0,18mm 0,0245mm² 680 Ω/km), donc 41m de fil ce qui fait – avec une spire moyenne de 80mm – un nombre de 500 spires environ - ce qui fait un champ de 124 A.tours et une puissance dissipée de 1,8W.
- MCR2 55 Ω fil de gauge 33 (0,18mm 0,0245mm² 680 Ω/km), donc 80m de fil – un nombre de 1000 spires environ - ce qui fait un champ de 127A.tour et une puissance dissipée de 0,9W.

Les bobines de courant font :

- MCR1 4 spires de fil de gauge 13 : 1,83mm pour un courant de 5,8A, le champ du régulateur de courant fait 23 A.tour, le champ des 13 spires du cut-out fait 75 A.tour.
- MCR2 5 spires de fil de gauge 12 : 2,05mm pour un courant de 8,6A, le champ du régulateur de courant fait 43 A.tour le champ des 13 spires du cut-out fait 111 A.tour.

Lucas a aussi décidé de donner des tensions de sortie différentes à ces deux régulateurs, mais mesurées sans courant de sortie, et sans publier l'effet du courant sur la tension.

Ils ne sont pas interchangeables, même, si en approche grossière, cela fonctionne : la limitation de courant peut amener la destruction d'une E3N ou E3H montée avec un régulateur MCR2 puisque le courant est limité à 8,5A, par contre, une E3L avec un MCR1, ne tirera simplement pas toute la puissance possible de la dynamo puisque le courant est limité à 5,6A.

5.9 Schéma MCRx

Les deux bobines « shunt » sont montées sur le même circuit magnétique (chassis) combinant leurs champs.

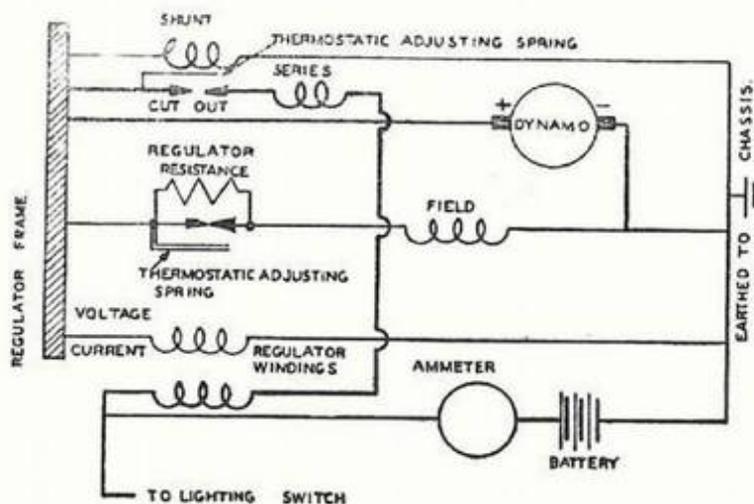
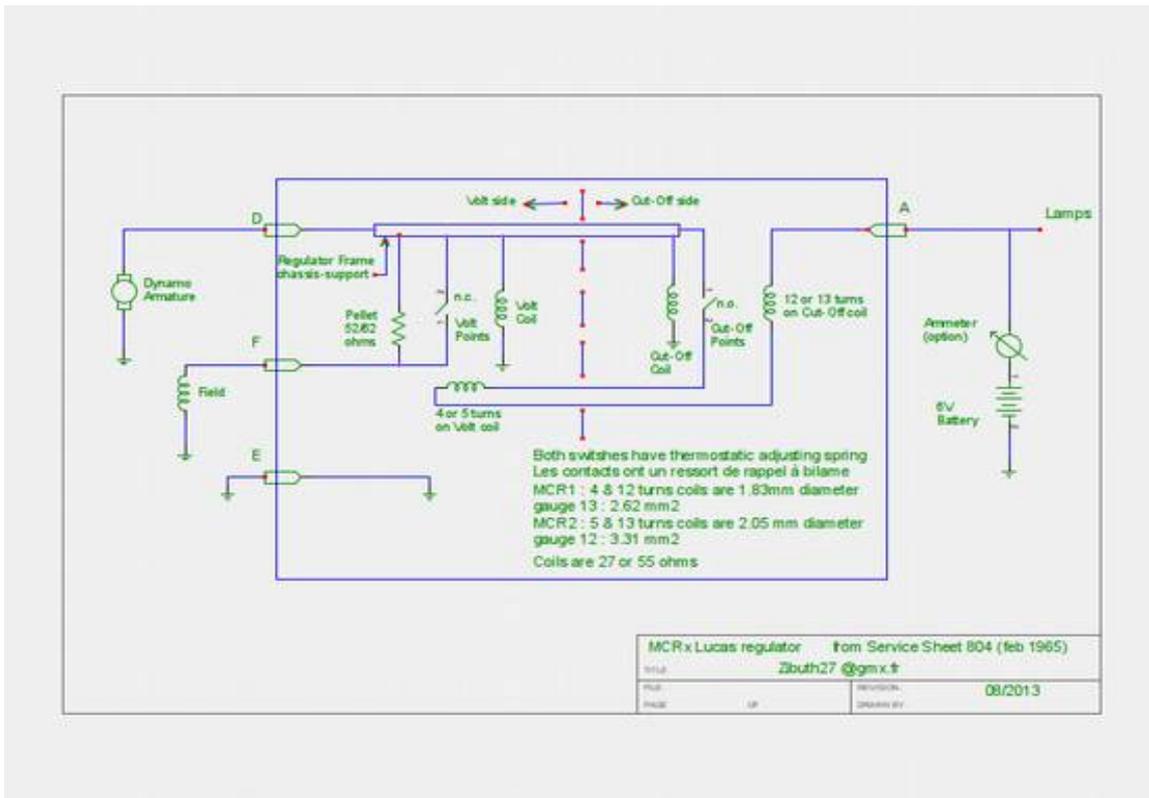


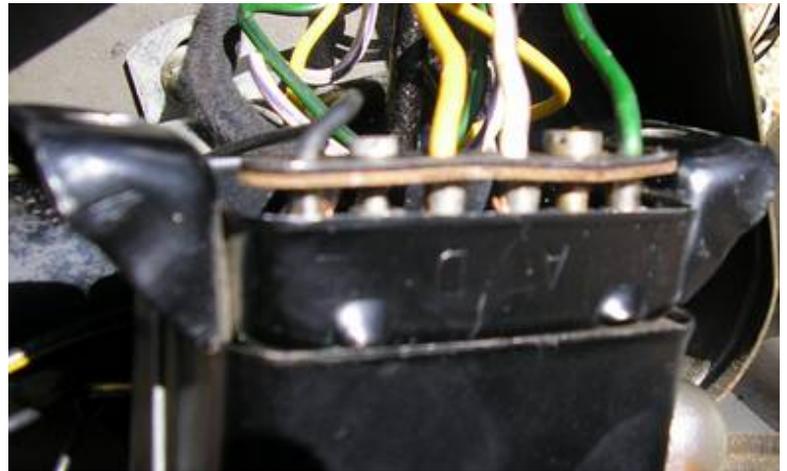
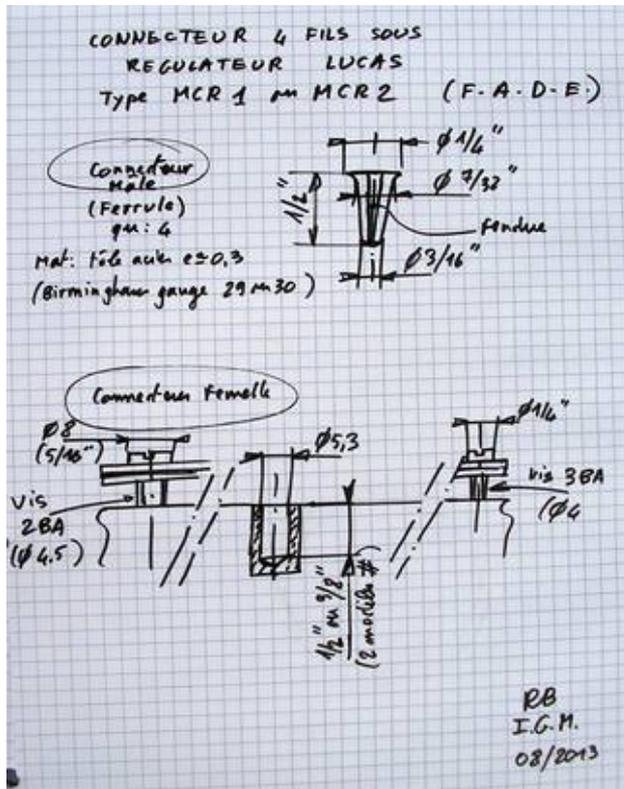
Fig. Y15. Circuit diagram of Charging System.



Reconstitution plus moderne du schéma. Lucas parle ici de negatif à la masse, ce qui ne change rien au fonctionnement électromagnétique du régulateur.

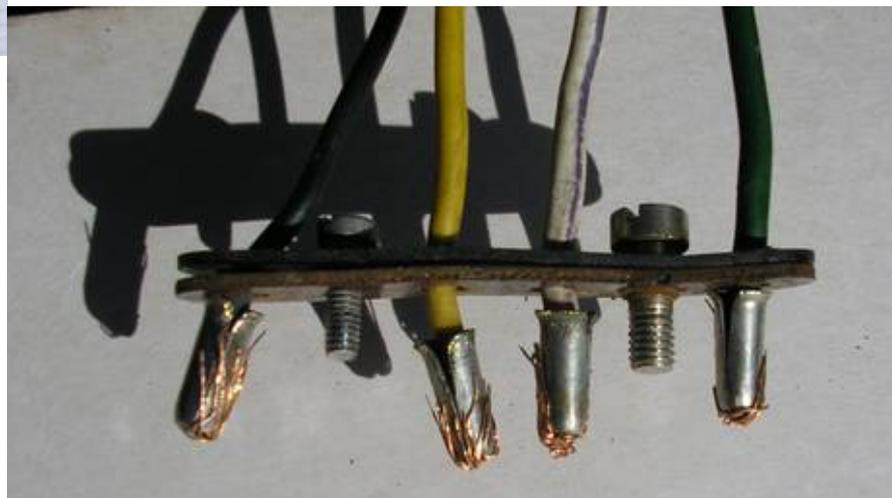
5.10 Les ferrules Lucas

Lucas utilise des ferrules (en british : « ferrules » ou bien « split bullets ») pour les connexions des régulateurs.



ferrules câblées insérées dans un MCR2

cotes des ferrules et cylindres relevées par Roland Baudet (I.G.Motos)



Pose des ferrules sur les câbles (photos R Baudet)

Les ferrules connectent les bornes du régulateur par pincement du fil entre la ferrule et le cylindre creux du régulateur. La qualité du contact dépend donc :

- du diamètre des brins qui doit respecter ce que voulait Sir Lucas
- de l'élasticité et du diamètre de l'isolant des câbles, variables avec le vieillissement et l'humidité
- de l'élasticité et de la forme des ferrules
- du serrage (de l'enfoncement) des cônes des ferrules par la plaque en bakélite

Il est donc facile de croiser des brins, au lieu de les disposer bien à plat sur la ferrule, ce qui crée des surépaisseurs ; le contact se fera par ces surépaisseurs seulement, avec échauffements localisés (et déformations et durcissement de l'isolant) et déformations possibles des ferrules, si l'alliage n'est pas le bon. La plaque bakétille se déforme dans le temps et avec l'humidité, et n'assure plus la bonne force d'insertion des ferrules. Si on brase les fils, à l'étain-plomb par exemple, l'élasticité des ferrules n'est plus assurée. La forme évasée à la base des ferrules assure un contact sur l'ouverture du cylindre, à condition que l'appui soit assuré par une pièce élastique (sinon seules deux ferrules seraient bien plaquées), la bakélite qui se déforme avec le temps

et l'humidité, choisie par Lucas, n'est pas le meilleur choix de celui-ci.

En bref, la connexion par ferrules n'est pas à la plus grande gloire de Sir Lucas, surtout avec le temps !

5.11 *Paris Rhone*

Photo d'un régulateur Paris Rhone trouvée sur le Net. On voit que les deux contacts se « règlent » uniquement en tordant les parties qui portent les contacts.



5.12 *Productions asiatiques*

On trouve sur le marché des régulateurs neufs d'origine asiatique indienne ou peut-être chinoise. Ils ont l'avantage d'avoir des composants internes neufs : contacts neufs, ressorts non rouillés, bilames non fissurés.

Je ne sais évidemment pas me prononcer sur leur qualité avant d'en avoir vu et ouvert. Je ne sais pas notamment s'ils respectent toutes les spécifications des Lucas d'origine ni s'ils en ont toutes les fonctionnalités, Le fabricant a très bien pu ne pas y mettre des fonctions comme la compensation de température et la limitation de courant, ou imposer les réglages par torsion des supports de contact au prix d'une longévité très diminuée (comme dans d'anciennes voitures populaires françaises des fifties-sixties, La prise en compte de l'inductance de l'inducteur fait osciller le régulateur à des fréquences qui peuvent accélérer l'usure du régulateur (mais quand même pas de la dynamo).

6 Quelques électroniques du marché et leurs « specs »

6.1 *regulateur V-Reg2 (<http://www.aoservices.co.uk/facts.htm>)*

1. Ideally each dynamo / regulator needs setting up to work as a pair, so it should be adjusted before use.
2. Then there is the issue of long term reliability; something that requires initial setting-up can go out of adjustment.
3. Contacts that are worked hard 'wear' out of adjustment in time, we all know how ignition points wear, the mechanical regulator contacts are no different.
4. There are several manufacturers, so how do you sort the good from the ugly?
All electronic components have a specification / limit and to ensure a good overall product any

electronics has to cope with some abnormal as well as normal usage, this needs to be designed in from the beginning, such that the whole unit is within safe / sensible limits.

5. Electronic dynamo voltage regulators, like most manufactured goods these days, can be made with different strategies:
6. Cheap & nasty, just good enough to do the job. In this case don't expect good performance or any support from the distributor!
7. 'Up-market' is the other extreme, with lots of un-necessary bells and whistles, and a high price which is often much more than the true value (sometimes the electronics are functionally no better than the cheap & nasty but they do look good!).
8. Good design with a generous specification and a distributor who can offer technical support; now you should get a competent product at a price that is affordable.

Points 1 & 2

Donc Problème de fiabilité à long terme : ce qui nécessite un réglage peut se dérégler. Les contacts travaillent beaucoup et s'usent et se dérèglent comme les contacts du rupteur.

un tel discours qui proscrie tout réglage nécessite une référence livrée exactement à la valeur souhaitée. Ou alors Vreg s'autorise une entorse à ce qu'il prône ?

Les régulateurs et inducteurs nécessitent un appariement (donc Vreg annonce lui-même l'évidence que le régulateur ne marche vraiment bien qu'avec quelques dynamos ciblées.)

Parmi les fabricants comment distinguer le bon du mauvais ?

La bonne utilisation des composants électroniques se conçoit dès le départ. Plusieurs stratégies possibles

- pas cher et méchant
- au-dessus du marché (l'autre extrême), fonctions inutiles, annonces en fanfare et le prix qui va avec, enfin surévalué. Parfois juste aussi bon qu'un autre mais meilleur aspect
- LA bonne conception bien sûr avec des spécifications généreuses (mais qui ne sont pas publiées chez Vreg!!) support technique (c'est vrai que ça coûte cher, mais ne rend pas la conception meilleure) et qui vous donne un produit adapté à bon prix

le retour usine concerne surtout les branchements incorrects et clients qui ne lisent pas les instructions, mais ils ne veulent pas sécuriser la conception, le client ne voudra pas payer le surcoût

6.2 nouvelle version Vreg2a (2001)

Improvements introduced with the V-Reg2a:

- *Current limit to the field winding, allows excellent performance when using a 6V dynamo on a 12V system (see below).*

Limitation de courant de l'inducteur qui permet une excellente performance quand une dynamo 6V produit du 12V. Affirmation un peu incompréhensible pour augmenter la puissance utile (appelée ici la performance) il faut augmenter le courant inducteur. Par contre il ne faut pas, en utilisation 12 V (d'une dynamo 6V) faire comme en 6V : courant max = inducteur relié à la borne dynamo. Là on dépasse largement ce que l'inducteur peut supporter

- *Tougher electronics, with the introduction of higher energy spark suppression, to reduce spikes generated by the dynamo.*

électronique plus résistante avec suppression des étincelles de haute énergie (produites par le contact vibrant des MCRx) cette énergie est habituellement dissipée dans la diode de roue libre - un des nombreux noms de cette diode - (= diode D2 du Selectronic) OK là c'est une innovation de Vreg et on ne gaspille pas l'énergie de commutation dans une étincelle ou dans une diode de roue libre. Dans le cas de la E3N il s'agit de 5 mH soit $\frac{1}{2} LI^2 = 13mJ$ A100Hz cela fait une énergie dans l'étincelle de 1,4W. C'est pourquoi les résistances des MCR1 MCR2 sont bien plaquées sur le châssis pour les refroidir. Cela peut

être simplement réalisé par un composant à 10 kopecks : résistance VDR ou MOV

- *Improved "thermal foldback" which progressively reduces output power if the regulator gets too hot, indirectly limiting the dynamo from excessive current.*
limitation thermique qui réduit la puissance quand le régulateur devient trop chaud. Bonne idée, non vue chez d'autres régulateurs électroniques, mais il n'y a aucune adaptation au modèle de dynamo du client, la dynamo est conforme à un seul type ou elle est mal protégée
- *Higher specification voltage reference.*
référence de spécifications élevées OK on espère ne pas avoir la dispersion des livraisons Selectronic. Mais QUELLES spécifications ?
- *Better servo loop stability, with new electronics which 'predict' when the output voltage is nearly correct and control the field current earlier.*
meilleure stabilité de la boucle avec une nouvelle électronique qui prédit quand le courant inducteur va bientôt s'arrêter et contrôle le champ inducteur plus tôt

Protection thermique pas vraiment expliquée, je la suppose ici comme un effet secondaire d'un composant interne, mieux vaut maîtriser la puissance dans l'inducteur et le courant de sortie l'utilisation d'une boucle asservie est une nouveauté (non suivie chez les autres régulateurs). Elle peut simplement se comprendre comme une régulation sur le contrôle de l'inducteur, ou bien comme un fonctionnement analogique de l'inducteur (ce qui serait une révolution, et serait sans doute décrit à plus grand fracas) . On évite les claquages possibles de l'isolant quand la résistance d'amortissement ou la diode de roue libre sont défaillantes (meilleur comportement en cas de fonctionnement anormal)

Par contre pas un mot sur les fonctions des MCR1 MCR2 limitation du courant rotor (sans limitation électronique, il faut mettre un fusible) et compensation de la température de batterie

6.3 Podtronic

aucune spec publiée sauf dimensions

6.4 DVR2 (dynamo regulators limited) 2011

annonce seulement une tension à 7,2V (pour copier le monde auto) et résistance inducteur obligatoirement supérieure à 2,5 ohms

6.5 DVR4

limitation courant
protection inversions polarité dynamo
protection batterie absente ou défaillante
limitation surtensions

6.6 Boyer Bransden

1. The dynamo regulator unit is designed to replace the mechanical voltage regulator and cut-out used on many motorcycles using the LUCAS E3 TWO BRUSH DYNAMO. This dynamo is designed to charge a 6 volt system, but when connected to a Boyer Bransden Dynamo Regulator Unit it will charge 12 volts at over 120 watts without placing undue load on the dynamo windings. It will also replace the electronic

aftermarket direct current regulator units.

2. The dynamo regulator unit uses a very efficient switching device controlled at over 500 times/sec., its on/off ratio is adjusted electronically by a circuit measuring the dynamo voltage, this switch controls the magnetic field of the dynamo stator without the power loss in the stator coil winding present with a normal direct current system. Also incorporated is a method of maintaining the magnetic field when the switching device is in the off condition. This control is so good that even without a battery, lighting circuits and horn can be run direct from the dynamo without flicker. (Ignition can only be fed when a battery is fitted as no voltage is available at kick-start speeds).
3. With a 6 volt system, charging will start at 1200 RPM; on a 12 volt system 1600-1800 RPM is required. Reduced output voltage will be available from 500 RPM upwards. If lighting is run direct without a battery then the bulbs will be at half brilliance at tick over and full output at 2500 RPM.
4. Battery charging is by voltage control with current regulation, if higher charging currents are prolonged. Stability is maintained by internal thermistor control.
5. A dynamo that has been rewound for 12 volts will start charging at a lower RPM and will work well with this unit.
6. Four units are available - 6 volt positive earth, 6 volt negative earth, 12 volt positive earth and 12 volt negative earth. Size: 66mm x 62mm x 35mm. Weight: 200 grams. 4 x 6mm mounting holes. The Lucas voltage control cover can be fitted over the regulator box to give an original appearance.

Commentaires sur l'argumentaire Boyer-Brandsen :

Point 1 : la conversion en 12V

- *se fait en montant dans les tours (lois de base de l'électromagnétisme)*
- *ne charge PAS le rotor plus qu'il continue à débiter ses 8,5A max et que, en « 12V » ces 8,5A correspondraient à 120W sous 13,8V*
- *charge l'inducteur plus qu'en 6V, le circuit magnétique se rapprochant de la saturation, il faut augmenter le courant (relation non-linéaire), il est alors trop facile que la régulation tente de dépasser les 7,9V prévus par Lucas en courant max. Une protection sérieuse ou un fusible est INDISPENSABLE. Pas un mot de Boyer-Brandsen*

Point 2 : semble une description d'un fonctionnement en PWM (modulation de largeur d'impulsion) dont la fréquence varie selon la demande en courant. Cela permet indirectement de passer la fréquence de l'excitation du stator des 50Hz habituels à 400Hz. L'inductance du stator n'ayant pas changé (5mH) ce PWM limite donc la puissance moyenne dans le stator. Mais il faut qu'elle inclue une sécurité (non décrite) ou un fusible (non décrit), car un dysfonctionnement entraîne le courant batterie directement dans le stator. Le stator admet 19W en « 6V » qui atteignent plus de 50W en cas de panne, cela détruit assez rapidement le stator, et le rotor qui est dans un champ trop fort se détruira probablement rapidement aussi. Le maintien du champ magnétique peut être possiblement fait par des condensateurs (ce qui élimine aussi les surtensions stator)

Point 3 : chiffres vraisemblables

Point 4 : présence de « régulation de courant » . On reviendrait aux errements des dynamos trois balais ?? cela signifierait que la dynamo sort toujours le même courant lampes allumées ou éteintes ? Il s'agit plus vraisemblablement d'une limitation de courant (current contrôle ou current limitation) qui module la régulation à tension constane de base. La présence d'une thermistance est ambiguë ici (sur le limitation de courant ou sur la régulation de tension?) Si elle est était placée pour mesurer l'air ambiant ce serait TRES BIEN, et reproduirait le fonctionnement des MCR1-MCR2, mais j'en doute, elle protège à mon sens l'électronique interne du régulateur, comme le Vreg2a.

Comment la limitation de courant s'adape-t-elle aux dynamos différentes : les 40W ont un courant de 5,7A et les 60W ont un courant de 8,5A

Point 5 : Boyer parle évidemment d'un rebobinage du rotor.

Point 6 : versions différentes, c'est le gage d'une meilleure adaptation que les montages « universels » qui dans les régulateurs se traduisent par un fonctionnement dégradé pour les cas non optimisés.

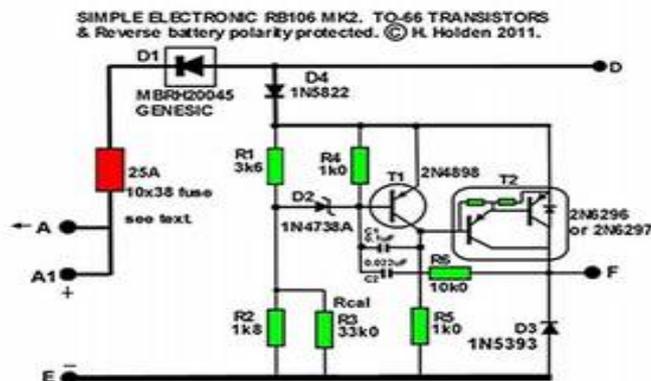
La conception a l'air sérieuse, il faudrait vérifier la protection des rotors et stators, surtout en cas de panne de l'électronique

6.7 Autres schémas qu'on m'a proposé

Proposés par Single Malt via BSAmicale

Avec mes analyses

schéma 1



montage plus simple ne veut pas dire meilleur, ni pire d'ailleurs.

c'est un schéma de régulateur 12V pour **NEGATIF à la masse** et pour inducteur câblé comme Lucas (ce régulateur augmente la tension de sortie quand la borne excitation monte vers la tension batterie)

sans plus d'ajustement, la Zener est à 5% soit, si le calage est fait pour 13,8V théoriques, la sortie sera de 13,1 à 14,5V selon l'approvisionnement en diodes (sous-charge ou ébullition), si le calage est fait pour 14V, on verra jusqu'à 14,7V selon la diode

curiosités du montage :
étage comparateur avec un simple transistor = imprécision mais meilleure compensation de la température que le différentiel de Selectronic quoique bien réduite par le coefficient en température de la diode Zener, (compensation encore plus foireuse en 12V)

utilisation de la diode de compensation 1N5822: elle est déclarée comme diode anti-con (contre l'inversion de polarité batterie) mais a d'autres effets. Role normal de compensation de la diode MBRH20045 et même technologie (Schottky) mais la diode de cut-out voit sa chute de tension directe varier en fonction du courant débité et la diode 1n5822 voit sa chute de tension directe varier de plus de 0,1V en fonction de l'état de l'excitation, ce qui agit sur la chaîne de comparaison. Il y a une forte intégration des signaux par effet Miller sur T1 (conséquence du phénomène précédent, ou adaptation à la valeur d'inductance, spécifique d'un seul modèle de dynamo ?)

il est fait pour des dynamos de voiture, avec une inductance d'excitation différente des motos.

En bref montage curieux, qui marche peut-être bien dans certains cas, mais avec des disparités et une destination voiture. A mesurer pour un avis définitif

Présence de deux circuit d'amortissement : une capa Miller C1 et un snubber C2-R6, ne marche bien qu'avec un couple dynamo-régulateur spécifique

pour passer en 6V, il faut au moins changer de Zener, ici elle est de 8,2V et n'entrera jamais en conduction sous 6V. Les Zener 4V n'ont pas les mêmes caractéristiques (résistance dynamique, coefficient de température) que les Zener 8,2V, il faut donc modifier le circuit de référence de tension, et peut-être autre chose

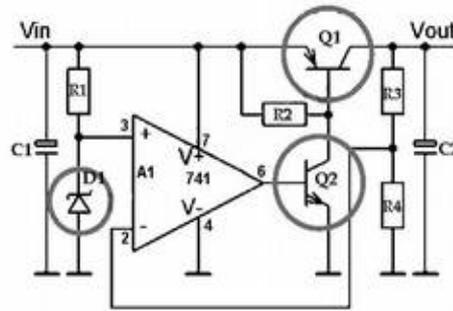
Tout dépend de ton niveau en électronique

Je vois que c'est un régulateur avec un boîtier, prix 45 livres avec port. Sais-tu si le circuit est modifiable (sans moulage epoxy à ouvrir au burin) ?

Utilisation d'un transistor de sortie de Darlington entraîne une perte de puissance de 3W environ, et diminution de la puissance max de dynamo, car l'inducteur n'a pas sa tension max (saturation plus élevée du Darlington ET perte de 0,4V dans la Schottky D4, ça fait 1,5V de moins pour l'inducteur, déjà élevée en 12V mais intolérable en 6V).

schéma 2

Régulateur de série avec asservissement de la tension de sortie



Ce n'est qu'un régulateur de tension !

il mesure la tension ailleurs (batterie) que là où il agit (excitation) : il ne mesure pas la tension dynamo (ou batterie) pour commander l'inducteur. Non adaptable tel quel en moto/auto.

l'ampli op est remplacé par un transistor

mais il **MANQUE la fonction cut-out**, dans ton nouveau schéma, indispensable pour ne pas griller le rotor, généralement une diode Schottky (il y a encore d'autres moyens de griller un rotor, comme une tension excessive)

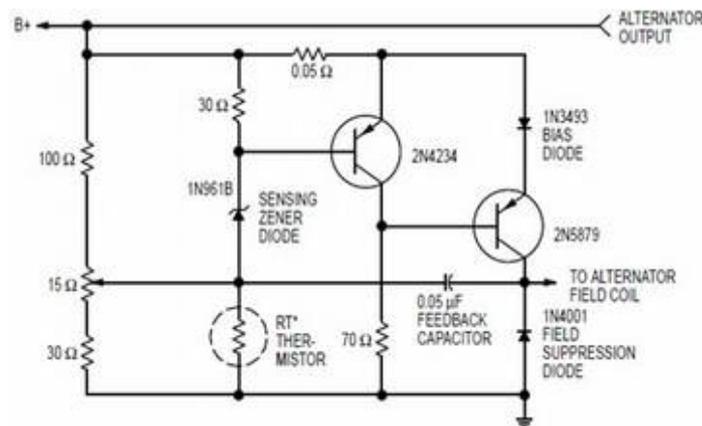
un ampli op n'est pas nécessaire, sauf s'il est moins cher qu'un transistor bipolaire, mais il ne sortira pas autant de courant, c'est à toi de voir on ne travaille pas en régime linéaire, à cause du temps de montée du courant dans l'inductance de l'excitation

ton nouveau montage est capable de griller très vite le transistor Q1, selon les transistors que tu vas mettre, car il n'y a pas de contrôle du courant de la base de Q1.

Où places-tu et comment fais-tu le réglage de la tension?

c'est aussi un montage pour batterie NEGATIF à la masse, mais ce n'est pas un gros problème s'il n'y a pas d'électronique sur la moto, il suffit de faire marcher la dynamo "en moteur" quelques secondes avec la nouvelle polarité, et hop, on a inversé la polarité

schéma 3



- pour alternateur: cela signifie que le gain magnétique est en général plus important, il faudrait ici calculer plus précisément le gain pour voir s'il est suffisant

- on voit la présence d'une résistance de mesure et de limitation de courant (R 50milliohms) et sensible à la température puisque s'opposant au Vbe

- le fonctionnement en régime de commutation est confirmé par la présence de la diode "bias"

- la zener est soumise à fort courant (si 14V de tension sortie alternateur la diode voit une soixantaine de mA alors qu'elle est prévue pour 10mA et 500mW, on en est à 600mW!), elle a un fort coefficient de température (parce qu'elle est de 10V) et est donnée sans précision de sa valeur par fairchild

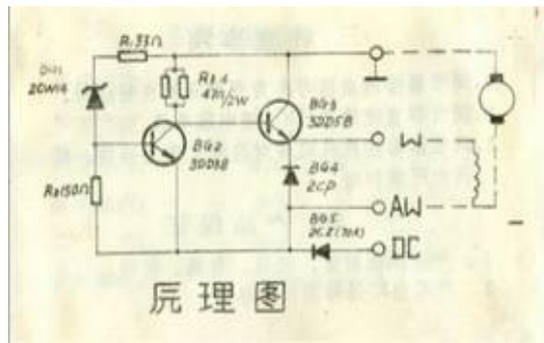
- la thermistance est montée directement sur le circuit de référence, selon la vraie valeur de la zener, l'effet de la thermistance va être plus ou moins important.

- pas de cut-out du tout, même pas de diode, : tel quel c'est le grillage assuré du rotor pour une dynamo, c'est évidemment pour alternateur voiture

Vlà ma première analyse de ce qui ressemble à un montage Selectronic: ça marche parce que les valeurs du proto étaient ce qu'elles étaient en labo,

en série ça foire. Ou alors c'est une VRAIE grosse fabrication en série, et les composants sont triés ou garantis dans la bonne fourchette

schéma 4



c'est plein d'astuces ton crobard ! En fait ressemblant quand même au schéma 3 avec des simplifications (ça, c'est pas toujours facile !) représentation à l'envers, plus tordu encore que les british! (mais justifiable électroniquement)

transistor de sortie:

- forçage de l'auto-amorçage par R3-4 et BG3
- la diode BG4 sert de roue libre,
- BG3 sort sur l'émetteur, non recommandé, mais la diode BG4 est là, il ne reste plus que le risque (de second ordre seulement) de surcourant base de BG3 en cas de forte oscillation négative résiduelle, normalement déjà bien étouffée par BG4

comparateur :

- fait par la diode Zener BG1 et la jonction base-émetteur de BG2
- lorsque la tension est trop forte le transistor BG2 court-circuite la jonction base-émetteur de BG3, donc plus de courant inducteur : OK
- compensation en température insuffisante : 2mV/°C, annulée par le coefficient de température positif des diodes à 6.5V demandées par ce schéma
- circuit très sensible à la sélection de la diode Zener (voir les problèmes du régulateur de Fred), donc **totallement non reproductible par l'amateur**.

Ne marche qu'en grande série, et quand on peut écouluer les diodes hors de la tolérance très précise qu'on demande. Les diodes Selectronic que j'ai vues font des sorties batteries de 7.76V à 8.48V

- gain faible : un seul étage avec résistance de collecteur de 47 ohms seulement! on peut attendre une ondulation importante de la sortie, mais pourquoi pas, si elle est tolérable?

Pas de limitation de courant rotor

Ce schéma est valable pour les dynamos à point commun stator-rotor coté sortie dynamo : applicable à des Miller mais pas aux Lucas

7 Le nouveau régulateur

7.1 Modules fonctionnels

7.1.1 La référence de tension

La référence de tension est la base du régulateur. Elle est fondée sur un champ magnétique et la raideur d'un ressort dans les MCR1/MCR2 et la distance d'air entre palette et noyau, cette référence est modulée par l'action d'un bilame sur le ressort de rappel des contacts. Elle est aussi modulée par le courant. Il ne me semble guère possible de trouver une référence qui ait une stabilité correcte, affublée directement du bon coefficient de température.

Je préférerais (mais cela complique le schéma) utiliser les valeurs mesurées à la batterie plutôt qu'à la dynamo (surtout si je suis amené à utiliser une diode Schottky à chute de tension « constante » de 0,5V) soit la courbe du §2,4 qui linéarise le coefficient de température. L'équation de la moyenne donne une valeur origine à 0°C et 7,52V et une pente de -12 mV/°C .

références possibles :

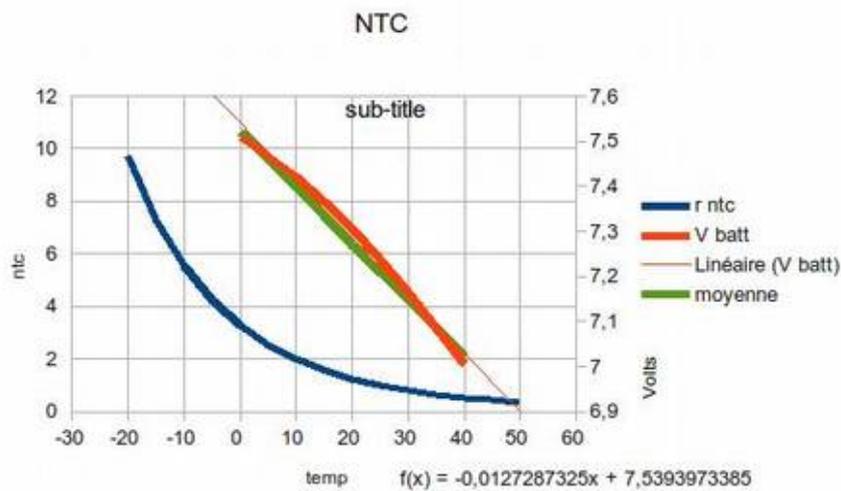
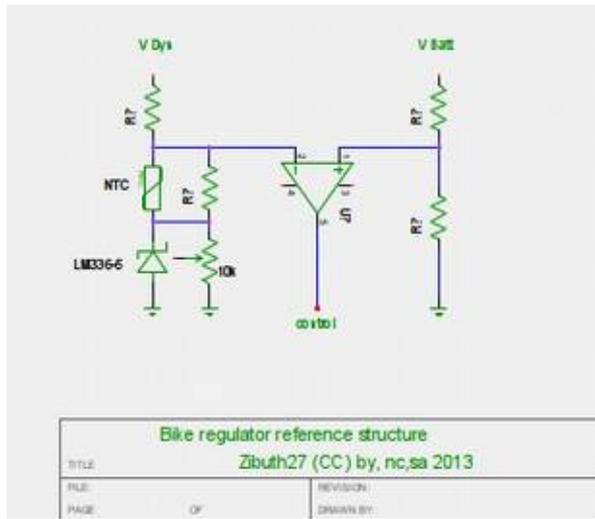
LM78L05 régulateur 5V, sa tension varie selon la pièce livrée (mais ne varie plus guère après !), de 4,75 à 5,25V, il faudra prévoir un ajustement. Son coefficient de température est de -0,65mV/°C, près de 20 fois trop faible.

LM336-5 référence 5V, sa tension varie selon la pièce livrée de 4,9 à 5,1V, sa stabilité à long terme (1000heures) est de 20ppm (0,020%) et son coefficient de température est de l'ordre de - 0,065 % à +,065 % en fonction de la tension initiale. Il y a de plus la possibilité de faire varier la tension de référence de 4 à 6V, sans affecter la stabilité

LM235 capteur de température, il donne directement une valeur en Kelvins x 10, soit une sensibilité de +10mV/°C, soit aussi 3,00V à 27°C, pratique et reproductible.

thermistance (résistance à coefficient de température négatif CTN en français et NTC en british) sa variation est très importante mais absolument pas linéaire, elle est dans le bon sens (coefficient négatif) $1/T = A + B \cdot \ln(R/R_t) + C \cdot \ln(R/R_t)^2 + D \cdot \ln(R/R_t)^3$ (T en Kelvins). Tellement sensible pour un amateur qu'il devrait connaître précisément ses paramètres ou les mesurer (bain d'huile stabilisé obligatoire). Ces paramètres varient naturellement selon les lots, un industriel peut facilement obtenir ses paramètres ou les mesurer, et il achète plutôt par lot de 100 000 pièces ! Associée à des résistances, son effet peut être plus ou moins adapté au besoin. Mais cela ne se prête pas au bricolage ! Mieux vaut ne pas compenser et rouler à « météo constante » que faire n'importe quoi, vous êtes prévenus.

Une référence accompagnée d'un ensemble série/parallèle et d'une thermistance peut donner un résultat intéressant



Pratiquement, la pente est correcte dans la gamme de température 0 à 40°C, plus probable que -20 à +50°C. Mais le montage fonctionnera quand même à -10° ou à +50°C, simplement vu la probabilité pratique, je m'abstiens des calculs et vérifications des protos. Et puis j'ai le droit de me limiter à 0 +40, comme le font tous les appareils photos, même d'une qualité certaine !

La courbe colle suffisamment près à la valeur moyenne des fabricants Yuasa, PowerSonic et IBT : montage adopté ! (si je reste avec des thermistances) Reste plus qu'à l'essayer et affiner les premières approches de mes calculs et simulations.

7.1.2 La commande d'inducteur, positif à la masse

Faite par un transistor MOS, les polarités sont favorables à l'emploi de composants performants et bon marché. La grille peut être simplement connectée à la sortie du comparateur (qui nécessite toutefois un pull-up). Certains (H Holden) clament une mauvaise fiabilité des MOS en usage régulateur. A titre conservatoire, je vais employer un transistor à jonction classique.

7.1.3 Le conjoncteur-disjoncteur, positif à la masse

Fait par un transistor MOS plus puissant, les polarités sont favorables à l'emploi de composants performants et

bon marché. Le montage le plus simple est fait par un comparateur sensible (surtout qu'on cherche à diminuer les pertes du régulateur. Le fonctionnement est le même que celui du MCRx, conjonction dès que la tension dynamo est supérieure à la tension batterie, disjonction dès qu'elle est inférieure. L'intérêt du MOS est sa faible dissipation thermique en comparaison de la diode Schottky de Selectronic qui peut dissiper 5W (si on dépasse un peu le courant normal, dépassement facile puisque Selectronic ne limite pas le courant). L'utilisation d'un comparateur classique est facilité par la polarité positif à la masse puisque son mode commun se trouve proche de son alimentation négative. Pour simplifier, je vais rester à la Schottky.

7.1.4 La limitation de courant, positif à la masse

Il faudrait introduire un shunt dans le circuit batterie, ce shunt peut aussi servir à la conjonction-disjonction, une résistance de l'ordre de la dizaine de milliohms entraînera une chute de tension de la centaine de mV, facilement détectable par un comparateur et tolérable sur la machine : c'est bien moins que les MCR1-MCR2. On pourrait songer à utiliser un capteur à effet Hall comme la série Pololu mais pour obtenir une certaine précision, il faut l'alimenter en 3,3V (ce qui rajoute un circuit régulateur et rend le montage plus complexe. De plus, comme il est prévu pour le Lo-side (coté négatif de l'alim à la masse), il ne supporte que des surtensions de 100V, vite atteintes lors des commutations inductives, de plus, j'ai été déçu par sa précision réelle (il y a plein de petits caractères dans sa spécification).

L'utilisation d'un comparateur classique est facilité par la polarité positif à la masse puisque son mode commun se trouve proche de son alimentation négative : c'est le mode commun préféré des comparateurs.

L'intérêt de ce montage est que la tension n'est pas diminuée en approchant de la limite de courant, par opposition au Lucas MCRx.

Pour un régulateur simple, on peut se contenter d'une protection par fusible

7.1.5 Utilisation de relais

Le bon vieux relais électromagnétique n'est pas ridicule ici, au contraire :

- Sa résistance série est de l'ordre du milliohm, donc pas de perte des précieux Watts (sauf bobine)
- Sa bobine demande 0,4W pour l'activer, soit dix fois moins de pertes que la diode Schottky
- Il résiste à 100 000 cycles de commutation à plein régime. Ici on va passer en cut-out à un faible courant (admissible par le rotor), donc ce nombre de cycles devrait être largement dépassé. Il ne posera aucun problème pour la durée de vie restante des motos vintage
- le seul moment où il commute à pleine charge c'est lors d'un surcourant, cas anormal et qui ne doit pas perdurer
- il coûte 1,5€ chez Conrad, soit moins cher qu'un bon MOSFET

L'utilisation de ce même relais pour la fonction limitation de courant ne devrait pas normalement rajouter de cyclages. Un voyant ou buzzer d'alarme de surcharge peut être utile.

Il ne faut surtout pas utiliser de relais de supermarché, qui coûtent en réalité deux fois plus cher, mais sans garantie de qualité !

Je pense utiliser le relais Omron G5LE-1-VD 5 VDC qui existe aussi en 12V

7.1.6 La commande d'inducteur

Le transistor de commande doit assurer le courant dans la bobine d'excitation (2,8 A dans le cas de bobine à 2,5 Ω) La commande doit aussi assurer le passage du courant vers l'excitation pendant la phase d'auto-amorçage de la dynamo. Une solution consiste à mettre un transistor PNP en émetteur commun (il faut toujours sortir sur un collecteur, car la tension de claquage y est

bien plus forte que sur l'émetteur), la base reliée en permanence à la masse. Par défaut, ce transistor est toujours conducteur (pour l'auto-amorçage), la régulation consiste donc à inhiber plus ou moins ce transistor. Le courant base correspond à une saturation du transistor à son gain mini, ici 155mA et 6,4V donc pratiquement une résistance de 25 Ω la dissipation dans la résistance sera alors de 1,8W. On peut être tenté de monter un transistor Darlington pour diminuer le courant base, mais on a une perte supplémentaire (par sa saturation à une valeur plus élevée, d'au moins un volt) de 2,5W mini. Le Darlington n'est donc pas intéressant ici. En 12V, on peut revoir ce raisonnement en raison de la dissipation de la résistance de base.

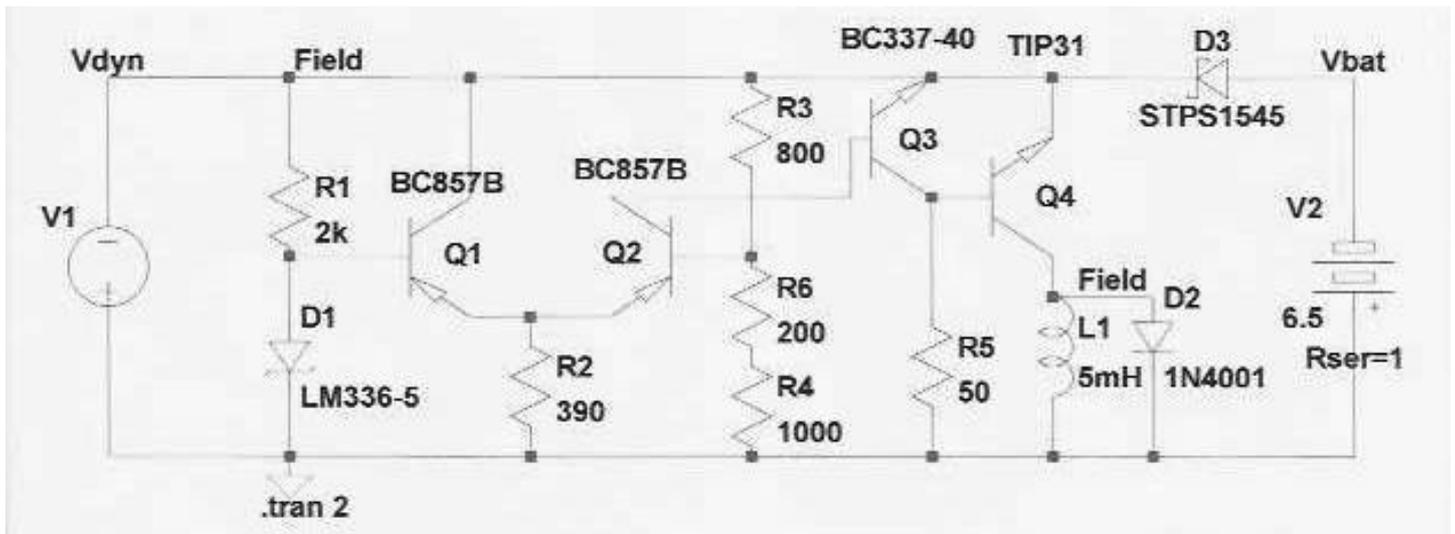
Ce transistor sera un TIP31C qui tient 100V et 6A pour un gain de 15 à

Commande par transistor MOS. Elle nécessite un transistor dont la tension de commande de grille permette un courant dès 4V (transistors « à commande TTL ») et assure une perte inférieure à 1W à 2,5A soit une résistance ON de 0,16 Ω . Un IRF1010E ferait l'affaire avec une tension grille source max de 4V, sa résistance ON est de 11m Ω et son courant max de 60A.

Le montage avec MOS canal N est inadapté à une batterie négatif à la masse, les MOS canal P sont mauvais et bien plus chers.

La commande d'inducteur peut aussi être réalisée en courant continu, et devient alors insensible à l'inductance de l'inducteur, seule sa résistance importe alors.

7.1.7 Schéma à tension constante, version transistors



Q1=Q2= BC557

Q3=BC337

Q4=TIP31 sur radiateur

D2 = 1N4001

R3+R6 c'est un potentiomètre 1k, représenté pour la simulation avec le curseur tourné au 1/5

R5 = 4 résistances de 100 ohms 0,6W, placés à 4mm du circuit car ils chauffent En fait mon premier transistor Q4 a un gain faible (et ça peut vous arriver) que j'ai fait passer la résistance R5 à une valeur de 25 ohms par mise en parallèle de 4 résistances de 100 ohms

la diode Schottky D3 est en fait une STPS1545 (vérifiée pour l'absence du bug Selectronic) montée sur radiateur

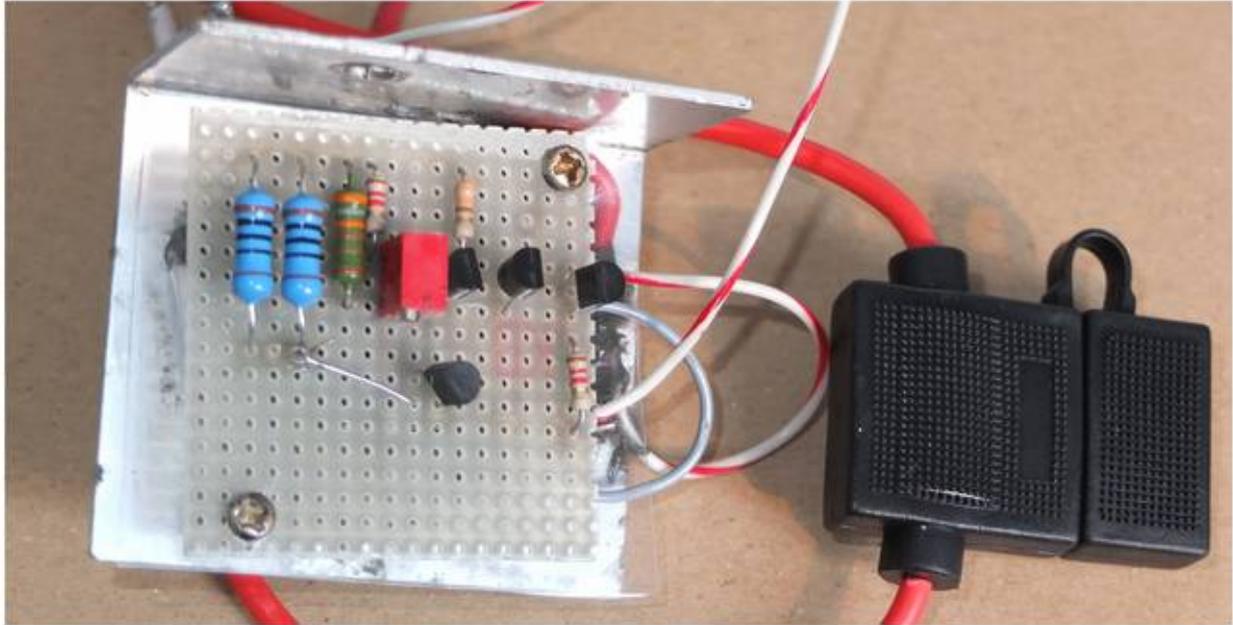
R4 est à 2 %

ce schéma est en plus transposable en batterie négatif à la masse

Ce schéma est simple, réalisable presque par tous, permet l'auto-amorçage de la dynamo (dès lors que la tension générée par la rémanence est supérieure à 1,5V).

La conjection est assurée par une diode Schottky STPS1545 ou MBR1545 (ou mieux une MBR20100 qui a l'avantage de ne pas nécessiter de canon isolant, son boîtier étant déjà isolé, il suffit de mettre un film thermique pour assurer un bon transfert thermique) moyennant une perte de 4,3W pour une E3L et 2,8W pour une E3N ou E3H. **La protection contre la surcharge est assurée par un fusible (indispensable)** de 10A pour une E3L et 7,5A pour une E3H ou E3N. Pour éviter une perte de 2,5W supplémentaire, le transistor T4 ne sera pas un Darlington mais un transistor simple type TIP41C, la résistance R9 sera de 47 Ω , puissance 1W, de faible précision (5 % est OK), elle chauffera moyennement en fonctionnement normal.

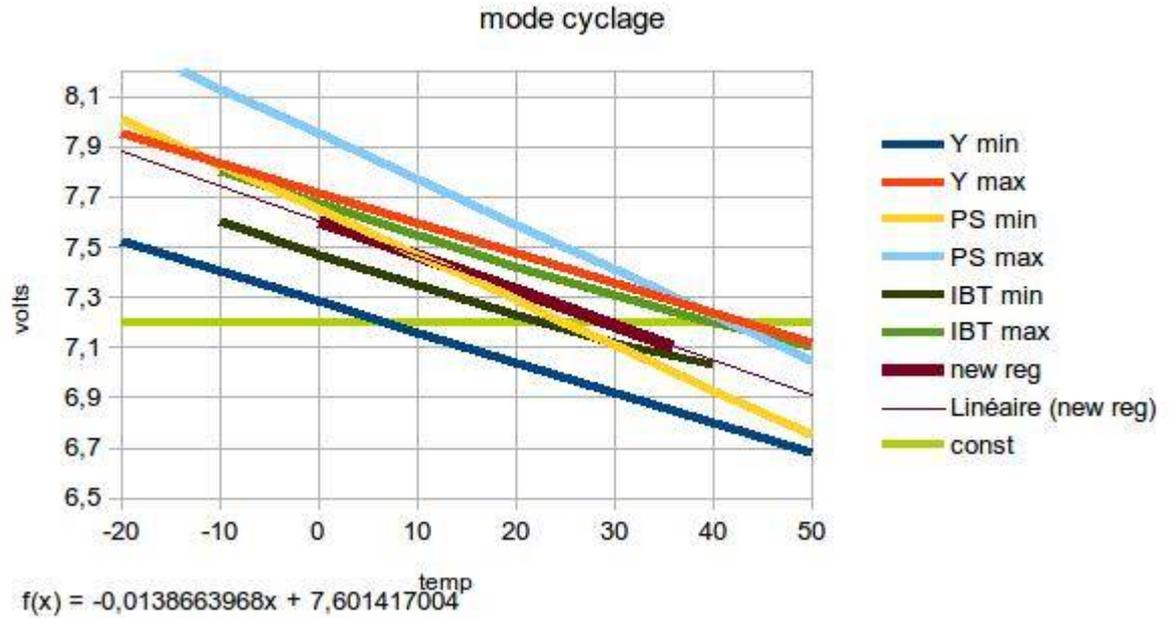
Avec les valeurs de résistances indiquées (à respecter impérativement, la résistance R4 doit être précise à 2 % minimum.



Les transistors de puissance Q4, D3 et D2 sont montés sur le radiateur. Pas de montage rigide hyperstatique entre la carte et le radiateur (comme Selectronic). Le fusible indispensable est bien visible,

le premier proto fonctionne sur la dynamo Lucas E3H dont je dispose pour ces essais, puis va être confié à Roland Baudet (Institut Gériatrique Motos) pour essais routiers, avant de passer à un rouleur pour essais d'endurance.

Coefficients de température. La simulation Spice du schéma montre un bon centrage et un bon coefficient. La réalisation est conforme. La version à tension constante est ici représentée pour un réglage à , 2V



Il faut régler le potentiomètre en fonction de la température du capteur lors de l'installaion (à monter hors du régulateur, à un endroit non chauffé par le moteur ou l'échappement, par exemple sur le garde-boue). A mesurer avec un thermomètre digital qui sera toujours meilleur que les thermomètres à alcool (regardez donc les thermomètres dans un rayon de supermarket, ils sont pourtant stockés à la même température, mais montrent des variations jusqu'à 5° !)

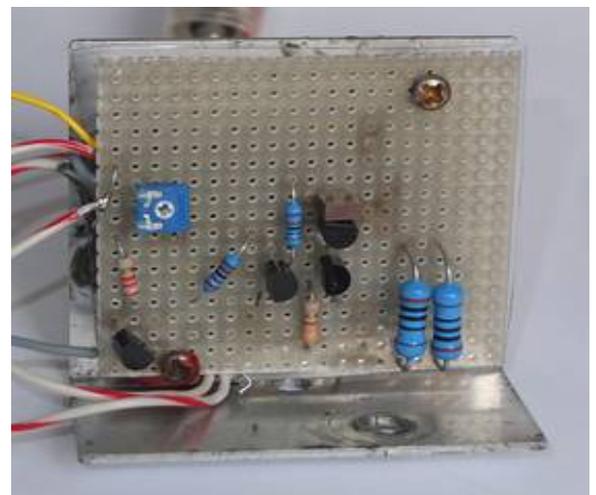
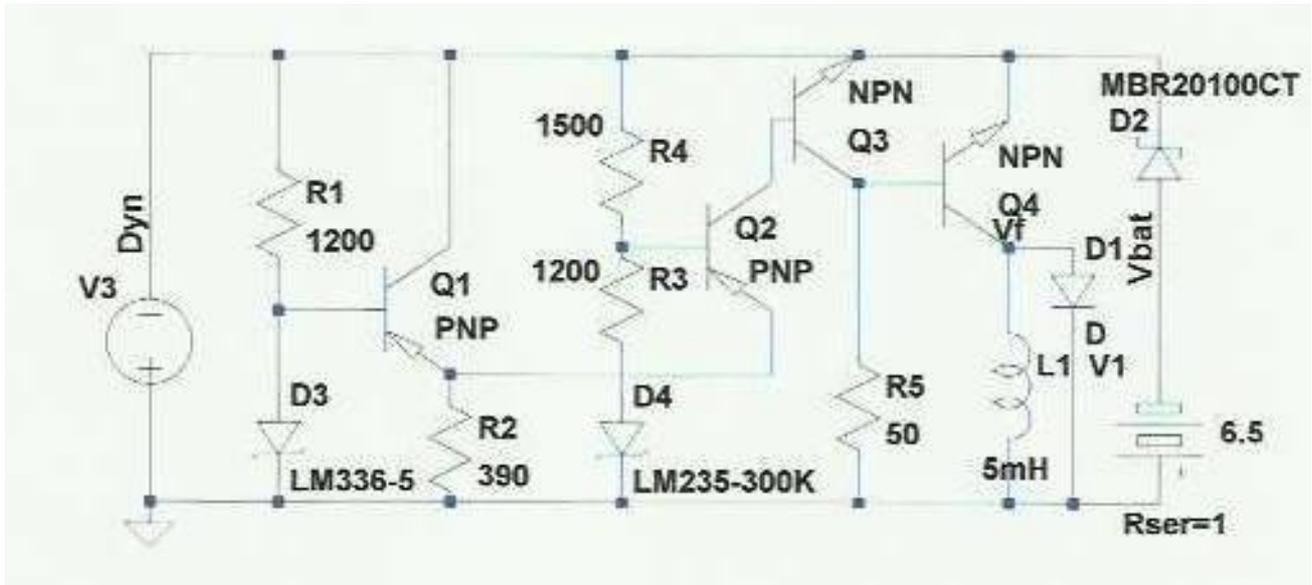
temp	Réglage (volts)	min	max
-20	7,76	7,55	7,85
-10	7,64	7,49	7,79
0	7,52	7,37	7,67
10	7,4	7,25	7,55
20	7,27	7,12	7,42
30	7,15	7,00	7,3
40	7,02	6,87	7,17
50	6,90	6,75	7,05

7.1.8 Schéma de principe du régulateur compensé, préliminaire,

Un proto a été réalisé, qui donne de bons résultats pour la compensation, correspondant à la simulation (« new reg » sur la figure précédente). L'équation désirée est respectée.

Il est fait avec des transistors discrets, la référence est un LM336-5, le capteur de température est un LM235 monté dans une cosse (pour pouvoir le placer sur le garde-boue de la moto)

La pente est faite par construction, la tension est ajustable par potentiomètre



Il reste à améliorer l'autoamorçage de la dynamo

8 Liens, sources

- BSA Factory Service Sheet 804 :
- Lucas Workshop instructions L3-A
- J Gardner Lucas electrical data, extraits de son papier sur la conversion 12V
- Travaux, sur Lucas voiture, de H Holden, de haut niveau, mais en anglais : www.worldphaco.net, mais il ne compense pas en température, et utilise parfois des Darlingtons

Doc en version 0, donc susceptible de changer tous les jours, sans forcément chager d'indice !

Merci à l'ami Roland d'IG Motos (l'Institut Gériatrique des motos) de m'avoir prêté ses régulateurs.