µã Ç¢å Ó yÓ ÓÑ¥ Sé Ñ# Óýúä# #' ä

# Ô ˜ } !e-î 9 ' *b g g : 2(4
# #þN 4 ±- FüÔ c

a | DÝw(¸ 8 !>

%¬D G T “ 7W¤ “ K• ” K,>¬>¬¶ œ®ß! ! ®0o

…œ>®Åg ³ Ô c Ô ˜ } C .è "¤ Â+±P Ó w@@Î³ !e-î 9 ' *b g oêXi Xdg : 2(4 w4 ' ³ 2(4 +± h €4 ± ÷ 1F 3+±@@Îæu Fô*U³ - TD™ *b"n! oX êöd FüÔ c æ" w ý P 2(4 +± Ì (´ • ÷ Õ. T6* wU ' ' -mx 7 wµ & } g : Ô c Z ÕDª S ' +±: V ž ú wý ' ³ #þN 4 ± oi XÆd FüÔ c æ" w6 u f ± ³ 2(4 +±Q®ÿ T A 3óK=E ³ X êö ÷ i XÆ - FüÔ c æ" +± g )3 w£ & £ 6 u TE =y ³ O¹@î

œJ[ œ@úÅÔ ˜ } g : !e-î 9 ' *b g - FüÔ c - TD™ *b"n! #þN 4 ± Z + 3 1¨ $ Å X ! ßŽ0œ œ œ´ ([ 4 -. Åö œ œ œ´ 0 4C$ Åß! ! ! K0®" %0! ß o! 0K 0® K"

œ œ Ô ˜ } ¬" Á*U »"¤ Â"x 4 & "x &ê & KÉº '– ¹ !¶ / '– Ï "x 0v ßKÒ" Ê › • 6* • Kb ¶ =ò z 4›+±: 9 ” Ô ˜ } 3 g 7f Dª < ¹ € =òDª < Ò%U € =òDª < Ô ˜ } "x FüDó8 Z ”>®o U"¤!a# Ó÷"¤ Â ] • C+± ò â 8 ” 3 } ; "¤ ÂK!+±C .è Ô c U - Ç80! ² %g ³ Dë] E - , +± ” g : 2(4 ì = g ³ Ô ˜ } "x Fü Z+± ò >®@é4 ” ° EŒDôc k Ô ˜ J =ò43 6L-!o A0¯ } ; "¤ Â K!+±C .è ×Ò% g : 2(4 *^ "ß ¸ F # C*b g Ož Õ "KÒ" s "ß ¸ OžÕ …U u 6* FüD™ &6*#½V*U(´ D°{ & o ÓD°P 0v4gK¤"G¡ » ' "*b OžÕ2(4 B· ' B· G+±=Ø*U » 434 +± c k Ô c ®Ò% 6 G.ú *b g *U » g : OžÕ KÒ"£ Z "!e-î 9 ' *b g ¤ 6 4 ±0- , &Ô c %¢h &€ / < &FúFüD¨ &u (´ ¹ Ì (´ • P 0v /® ' E%æU g : M³ ¤ 6 7œª +± Á*U z œ ßÒ% Y ´ Iµ & Ô ˜ } P Ó Ô c Á*U "@@Î³ - W!e-î 9 ' *b g g : 2(4 "£ & £ Ô c - \ E =y ³ -A/£ "U - TD™ *b"n! %X êöo FüÔ c æ" ' -mx 7 "ý ' ³ #þN 4 ± %i XÆo FüÔ c æ" "u ý P ³ 2(4 +± u (´ &Õ. T6* ÷Q®ÿ T %

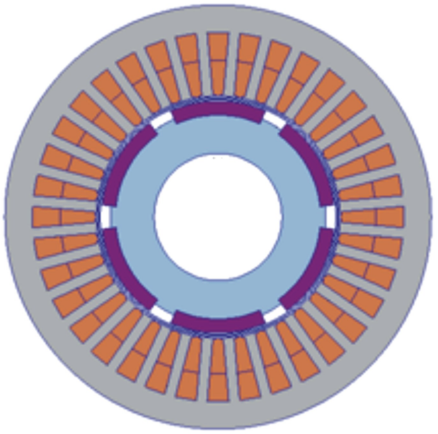
## Ó‡ ×9 R9 g : 2(4

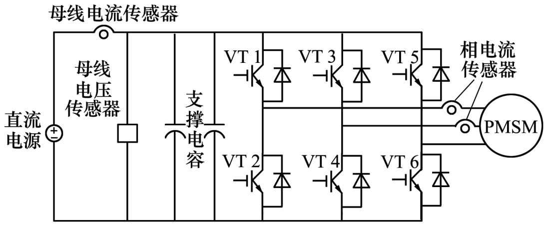
m@@Î+± Ô ˜ } *U!e-î 9 ' *b g g : 2(4 h €4 ± ¯ + ßm.g "!e-î 9 ' *b g ; D›, ,%E "EŒDô Ô c *b g D™EL÷D™Õ æ> "Ë(Ý, 4 UD›, 7 +±J =ò43+± c k "E 59Dë] A0¯ } ] "¤ ÂC .è +±, +± %

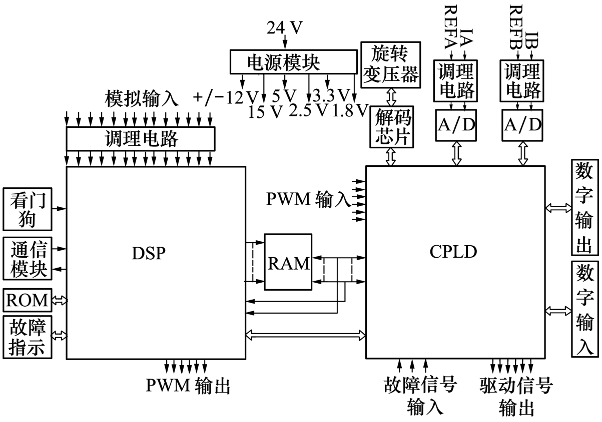
+ ßœÔ ˜ } *U êXi X g : 2(4 h €4 ± s +

!e-î 9 ' *b g \ Ê › Ì (´ &D™EL&u (´ 0v 4 4>® !o "EŒDôg C 5S5 æ" @@Î+± "h >®2 4 4 3 ½& h €4 ± 3 ½&} ÆE6 &í 7Üg %@ÔÄ&4 3ñ@@Î& T6* E C0v % J[ U » *b-î BL8¤+±E6 &b !A Œ5D +± 5 )3 3 Fz &A KÆî ó N e ÷4 3ñ • < +±-› Ç %

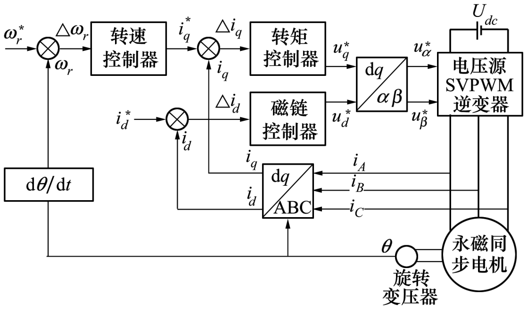
c /l L Å0! ß®K ×K8!
%520- ø Åa | DÝ%ß õ o">¬D G T “ ‡ -A/£ *L "h >®û ¸ !a /8 M³ -A/£ %




母线电流传感器
母线电压传感器
直流电源
支撑电容
VT 1
VT 3
VT 5
VT 2
VT 4
VT 6
相电流传感器
PMSM


24 V
电源模块
旋转变压器
IA
REFA
IB
REFB
调理电路
调理电路
A/D
A/D
模拟输入
+/-12 V
5 V
3.3 V
15 V
2.5 V
1.8 V
解码芯片
调理电路
PWM 输入
看门狗
通信模块
ROM
故障指示
DSP
RAM
CPLD
数字输出
数字输入
PWM 输出
故障信号输入
驱动信号输出

,! D¡*b"n+± Ô c ”f ±*b g DÀ' D™ +± T6* %+ " g M4 !e-î 9 ' *b g- FüÔ c 2(4 Ì )3 s + %




+ "œM4 !e-î 9 ' *b g- FüÔ c 2(4 Ì )3 s +

+ Z ”z 4› M L • +±DÀ' 3ü 1 )3 ; Ä ] *b g D™} z 4› $ $\theta$ ¹ D™EL $ $\omega_r$ %D™EL $ $\omega_r$ ; D™ EL4 $ $\omega_r^M$ ! D°; +± | ‰g ELÓ Ô c • +±DÀ ' ”&*b g D™EL E =yA07¯ ” Ë(ÝELÓK (Ü Ô c ”ELÓ Ô c • +±DÀ' $3üDdK} r 1 )3 ; ‰g D™ Ô c • +± 4 $ $i_q^M$ %*b g ,%*b"n $3ü } 4 • ; 3 X Ä ] $d$ ”$q$ D¡*b"n+± ËKr i $i_d$ ¹ $i_q$ ”-î J+ 4 $ $i_d^M$ ¹ D™ 4 $ 3 X 9*b g +± $d$ ”$q$ D¡*b"n ËKr i $i_d$ ¹ $i_q$ ! D° ”Ä ] +± | $ µ$i_d$ ¹ µ$i_q$ 3 X ‰g -î J+ Ô c • ¹ D™ Ô c • +±DÀ' $ ” &*b g +± $d$ ”$q$ D¡*b"n E =yA07¯ ” Ë(Ý*b"n K (Ü Ô c %*b"n (Ü+±DÀ ' 3üK} r ; ^ \ ê Í U Ç } 4 3ñ 7*b ¸ - Fü+± $d$ ”$q$ D¡ 3 Fü$u_d^M$ ¹ $u_q^M$ %$u_d^M$ ¹ $u_q^M$ 3ü } 4 • ; ”Ä ] $u_\alpha^M$ ¹ $u_\beta^M$ %Ê&”/§ K!- Fü66 ê A0c %ÆËü X o æ" ”3 $u_\alpha^M$ ¹ $u_\beta^M$ D™• = ,% Á +±E3 • Ì (´ • # +± - $ ”û 59 Ë(Ý!e-î 9 ' *b g +±- FüÔ c %

Y ´ m@@Îe-î 9 ' *b g +±,! D¡*b L $L_d$ < » £ ÑD¡*b L $L_q$ ”Ó ¤ 6 - Ç+± %®(´ ”g ³ r 3 V*U*^D™} -î C 4 ± : &/ m Ô*L+±-î KhD™ ”¬ D™ / *b"n Dë] - T ” ò M¨ &,! D¡*b"n $i_d$ E =y Ô c %- TD™ / *b"n Ô c \ - WŽ # ® i K MÅ%f › ® i K MÅ±• “ )3 @ç - ”€ *b-î D™ $T_{em}$ ¹ $i_q$ $ Bà ›$T_{em}$/ ›$i_q$ = ! ÷ ›$^0T_{em}$/ ›$i_q^0$ < ! # ”$T_{em}$ …U - T i %*^!e-î 9 ' *b g *b-î D™ @ÔÄ™<E - ' Õ ) - ”€ $T_{em}$ Dë] - T i # 6 å

$$‰(L_d - L_q) i_d^0 + \psi_f i_d - ‰(L_d - L_q) i_q^0 = ! \quad ‰ßo$$

< Z ”$\psi_f$ g !e-î €-î J+ %

*^ %ßo < !o Ä $i_d$ +±=•Dë< å

$$i_d = \frac{-\psi_s + \sqrt{\psi_f^0 + ×‰(L_d - L_q)^0 i_q^0}}{0‰(L_d - L_q)} \quad ‰Oo$$

œœ%Oo< ì \ E =y!e-î 9 ' *b g - TD™ ðb"n Ô c # $i_d$ ï 50i +±@ÔÄÊ › %

## ú‡ R9 ¬R- FüÔ c

' » !e-î 9 ' *b g +±Ô ˜ } g : 2(4 ¤ 6 G Fü&g 5S5 ÷ ï • # 0v'¦ %æ…UD° G+±² &C F Ÿ • %! ¯ å € ê Í 4 *b g +±BLDª GK¼m ‰ G â þ *L C ” >óg CF Ÿ • +*b g Dý=y # ”Ç } 4 3ñ*bKhi GK¼m#VÓ þ *L C ” >óg ² F ï • • Õ ’E È Ÿ • G U µ T/8 Ó 7 ž ú 2(4 +± T6* % G¡ » ‘ ”6 ò >®B ' - .ú Q®ÿ Ô c æ" %

#þN 4 ± %ÌX Æ oÔ c YBU7 \ - 1¨¦ · +± L‹3ì T Ô c ”£ L‹3ì T=•(Ý g Ô c +± : E 4 T %A Ô c 0$f$*' +±¦ %æU » £ Ô c e4 ± | £ : ' Ç ”59 \ Ê › 2(4 € z +±ã . ”¯ | ÷ £ 1Kc) • 0v ”6 , +± ] : Ú C ’E ¬2(4 6 &”M±Ç+± e#þ Õ N . |D• E&DýÕ %A Ô c æ" ; =ØÔ &AŽï • ÷ • Õ ” ¤ 6 ELú Á && ï • C ÷ • Õ : | L & L- U3ì D@@&- )3 Ë(Ý0- , 0v E%æ% Y ´ 3 #þN 4 ± Ô c ; - FüÔ c ,%4 5 ” Ë Í g : 2(4 Dý=y+±Q®ÿ T ”ý P £ T6* %

' » i XÆ +± ' Y)3 @ç & + " Z +±D™ELÔ c • E =y f E % 'ã . Fü$x_ß = \omega_r^M - \omega_r$ ”$x_0 = x'_ß$ ”A0 7¯• +±DÀ' g $i_q^M$ ”* *' SüT – ; Ä ] 2(4 U,%/§ K!+±• “ N ¸ g å

$$x'_ß = x_0 = -\omega'_r$$

$$x'_0 = -\omega'_r = -\frac{P_n\psi_f}{0J} i'_q \quad ‰o$$

< Z ”$P_n$ g ® & • ”$J$ g 2(4 øD™ 3 +±D™Õ Fü% E6 3ì T#þNL• $s$

$$s ‰o = cx_ß + x_0 \quad ‰×o$$

< Z ”$c$ g e • %

Fô*U! ¸ 4 • Ô c å

$$u ‰o = Ax_ß + Bx_0 \quad ‰¨o$$

œœ*^ DëT Ž # $ss'$ < ! Õ ) ' ‰¨o < Z +±2( • $A$ ”$B$ %g ³ w ^ #þN Ô c +± Ã \ " UD™ELÔ c • Z Í ' / 3 (Ü7¯ ” 3 *^ #þN 4 ± Ô c • DÀ' +± - $D™• = t D™ 4 $ %

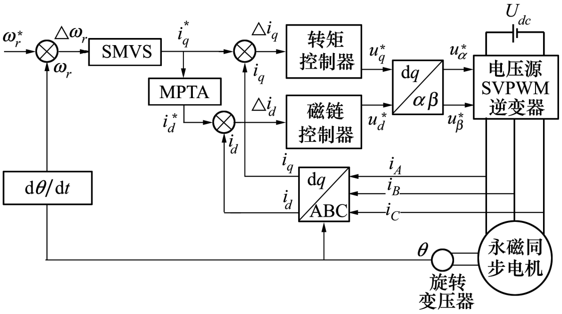
U 7 E 3 ½' -m x 7 ”+ 4 ' ³ Y ´ m@@Î +±Ô ˜ } g : *U!e-î 9 ' *b g - FüÔ c 2(4 Ì )3 s + ”,%! » + " m.g M4 - FüÔ c 2(4 ”h >®f E

U » å

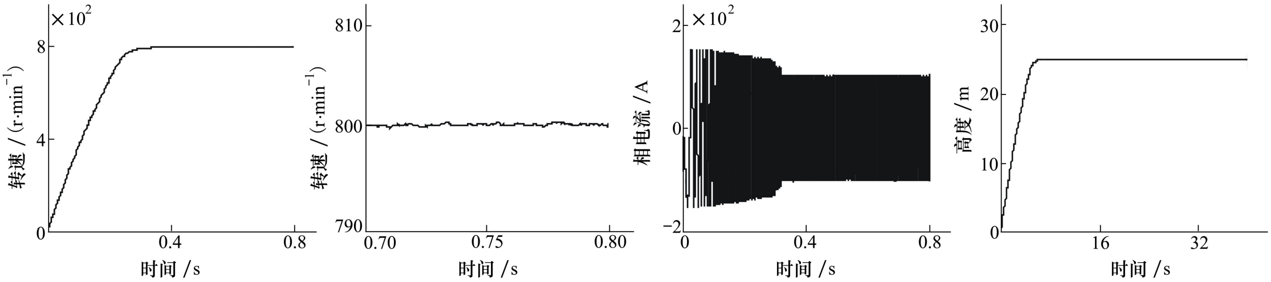
ßo V*U Xê ö@Ô̂Ä! D¡*b"n ï 50i "ý P 2(4 Ì (´ • ÷ Õ . T6* +

0o V*U i X Æ @Ô̂ÄÑD¡*b"n ï 50i "ý P 2(4 Q®ÿ T %

g ³ O¹@îm ý ' Ôc æ" +±T6* "& g : 2(4 E =y³ ' N , ,L "+ ®4 ' ³ i X Æ - FüÔ c 8 Ô ˜ } !e-î 9 ' *b g g : 2(4 +±, ,L4 É %




+ œY ´ m@@Î+±e-î 9 ' *b g- FüÔ c 2(4 Ì )3 s +




a) 电机转速 b) 稳态转速放大图 c) 相电流 d) 声呐高度

+ ®œi X Æ - FüÔ c 8 Ô ˜ } g : 2(4 , ,L4 É

œœ*^ + >î "*b g ¤ 6 7œª +±Õ/` . T6* "D™L6* L ELDë] M±@ELÓ !! ¢ð] =¿"59 } ; "¤ ÂK!+± C .è E=#= Ë Í "- ; µ ª ] Ôc U mL-+± 0" ] " ¡ WDð8 B²A0" A/` . A µ < %L->®A! ; +±\ "*^ » *b g D™LU ! Ž Dë] /` Ç " A" ÕL‹ e < " m

} P ÓDþi 3ì T Ë Í ",! 7 ; Dë] mL- i " *b g ‰• Dý=y % ' C " , ,L Dð8 Z " UBLDªD™ 7 Í ³ - Ç r i +±K¼g • Õ " N } g : Ôc +± ËKr â "7œª +±AŒLT6*=• ; "2(4 ¤ 6 µ ª +±Q® ÿ T "û 59O¹@î³ i X Æ - FüÔ c æ" +±6 u T %

Ôc "EG DôÔ c *b g +±ø D™LÓ ¹ D™> "A07¯ €C .è "¤ Â+±P Ó %@@Î³ ó =•Ba< !e-î 9 ' *b g "4 ' ³ OžÕ • ÷ Ôc • +± ~ ÷ Ì )3 s + %&- FüÔ c æ" E =y³ f E %Fô*U - T D™ ðb"n Ôc 0ƒ*' " ý P 2(4 +±Ì (´ • ÷ Õ . T6* " U ' ' -mx 7 " V *U#þN 4 ± Ôc - \ f EMD™L(Ü " ý P 2(4 Ä ² CF • Õ+±6* È % , ,L4 É=• ; " m@@ÎÔ ˜ } !e-î 9 ' *b g g : 2(4 ¤ 6 7œª +±Õ/` . T6* ¹ Q®ÿ T %

## ½‡4 ‡ @ç

Y ´ r 3 3 !e-î 9 ' *b g *U » Ô ˜ } +±g :

## ï 50´ ([ Å


ßÒœB¢' ;{ "(¸ € " M3Ï ² "0v ŽÔ ˜ } + ü 3 Ÿ+±Z TKó5 ; Fü} 1¿} 4Ñ0Ä" .ÒŽ'x4 " Ò " 0! ß " ×"‰oå " K ×0 ; dU• .±U¿dü" ü U¿k î ±U•" ; dU¿k @•¿k] =" wUŽ d ¶ üw• •qd±ùi wU¿› PüU¿wü] K› dUû › êUwù i U¢] qwj =Uw•¿ö K k•¢=w] •¦ i ⇒ iùU¿ i •¿U¢ç] Uk i k] ¿wUw•¿ .ÒŽöùwUH •› U wùU w U¢wk¢Uqd=ùUi =¿ùU" 0! ß " ×"‰oå " K ×0 %=¿ d±K ¿ o

0ÒœLµ:G "0 µ ´ "{ ô - "0v Ž Õ"x# Ô ˜ } 2(4 U ç Q©. ' @ëZ +±Á*U .ÒŽ7 "¤"¤"8 T " " Ò " 0! ß " 00‰oå ×! ×K×!

id¿ü ⁼ ;dU¿k id•üƒü” Â=_•¿kqU¿” wUŽ d öqq=ùUw•¿•¦ Õ>Uwdƒ] w¢ƒ i⇒ iùU¿ i•¿U¢iƒw] =¿ ö¢w=ù=U• ¦ •¿ wdüùw•¿ .ÒŽ.•ü¢¿U •¦ idU¿kdU= ùU¿ ¿=ù ¢=wƒ” 0!ß ” 00‰oå×!×K«! %=¿ d=¿ o

Òœ{ \ ;{ "{ "þ.ø "†J¬)‰'0vŽh=ØÕ 3ìKb } Z — ¹ Q©— U"r "¤ ¬*U#+±Ÿ•'¦ T .ÒŽ “ “ Ò” 0!!®' 0%ßoå ßK«

Â=P=dü” Â=idü@ü” iü¿ dU¿kƒü” wUŽ d ç¿w¢¦ ¢¿ù dU¢Uùw¢=wù •¦êUw•¢] U¿› • ›>•›ƒ¶•= =¿ idU• üUw¢ ¦•¢öùwù ðêU =ù • › ö¢¢Uƒi•¿U¢ .ÒŽöùwUöù•üwùU' 0!!®' 0%ßoå ßK« %=¿ d=¿ o

×ÒœM ŠD¶” †!a ´ "L /8 Ž- .ú Ë*U+±Ô˜ } 4 D“+±-A c ÷ Á*U .ÒŽg*b œ” 0!ß"” !å××K«"

@U¿î =U•dü⁼ iü¿idü= ¿” .=¿ d ¿kŽ d Õù •q] ¿wU¿› öqq=ùUw•¿•¦ Uê¢Uùwù U i⇒ iùU¿ i•¿U¢ü =¿ùd .ÒŽX ùdU¿=ùU U¿› 6 ùw¢=ùU ç¿¦•¢] Uw•¿” 0!ß"” !å××K«" %=¿ d=¿ o

"Òœ=Fþp "(¸5 (ú ” »$‹ Ž' »• „ êçÕÔc+±7 k } "ß¸4 D“Ôc2(4 .ÒŽL•ÈT “ “ Òå /8 - \ 'u ” 0!! ” 0 %ßoå×!K«"

U¿k .=¿ƒüU¿” üU¿k ü=d ¿” _üÂüŽÕ =k¿•¦wd Õ=qq=¿k i•¿U¢Õ @ƒ›¢Uü=ùü =¿ùd •¿w• iƒw] >U ›•¿wd Õ=k=wU êçÕ •¿w• .ÒŽ.•ü¢¿U •¦ P=¿k›U ¿=ù ¢=wƒå6¿k=¿ ¢=¿k² ùd¿••kƒ6›=w•¿” 0!! ” 0 %ßoå×!K«" %=¿ d=¿ o

Òœ½* { ” MÈ6 ” > u" "0vŽ! "n d*b gOžÕ+±a 8*b434 D“2(4 .ÒŽ¤"8 /8 ” 0!! ”0×%0oå ß0 Kß0

îüHü•düU' ;dU¿k .ü¿ d ¿k” î=U¿kî=U¿&•” wUŽ ¿› ¢ Uw¢ü =¿ùd iƒw] Õ¢=ù ¿ &ƒ >¢üd Õ X•w¢ .ÒŽ d ùU¿ 6¿k=¿ ¢=¿k” 0!! ”0×%0oå ß0 Kß0 %=¿ d=¿ o

®Òœ.=i ü ” ý∃ i .” ý∃ _ >Ž64q ¢∃ ¿wU öqq¢•Uùd¦•¢X••¢=¿k ü =¿ùd •¿w• iƒw] Õ =k¿ Òœß wd ç¿w¢¿Uw•¿U •¿¦ ¢K ¿ù •¿ •¿w• ” öüw] Uw•¿U¿› iƒw] ” 0!ß åß!0"Kß!0

Òœ, 6 ”AZ* ÷ ”9Ü« Ö ”0vŽ*U»-, Â4 D“+±- -îKh*b g Ôc æ" -A/£ .ÒŽ*b È*b} - \ ” 0!! ” ®%¨oå " K"

@ è ¿kƒ•ü” U¿Hü•¹⁄ü¿” ýüU=i•¿kƒU¿” wUŽ• U¢ùd•¿wd •¿w• X wd•›•¦i =wùd›• üùwU¿ù Õ¢=ù X•w¢öqq=›w d X=¿ @•=wiƒw] .ÒŽê• ¢6 ùw•¿=ù ” 0!! ” ®%¨oå " K" %=¿ d=¿ o

ÒœèUw] =i X .•” @¿U @' Uq•=¿• Hö” wUŽç¿¦ü ¿ù •¦ @U¿k=¿k Â•U •¿ç¿›üùw•¿XUùd=¿ •¢@ü U¿› iwdw¢ ü¢¢¿w=¿ @•=w=¿k ü =¿ùd iƒw] Òœ wd ö¿¿üU •¿¦ ¢¿ù •¿ ç666 ç¿›üw¢=U 6 ùw•¿=ù i•ù=wƒ” 0!ß!å0 0ßK0 0®

ß!ÒM* 7œŽ- L!e-î 9 ' *bg &4 D“OžÕ+±Á*U; Ôc .ÒŽ*b!A MÕ ” 0!ß×”××%ßßoå " K! ” 0!ß×

;dU¿k Hü• =U¿kŽöqq=ùUw•¿² •¿w• •¦•6êXiX U Õ¢U •¢ Õ¢=ù ¢ .ÒŽ6 ùw¢=ùÕ¢=ù ” 0!ß×” ××%ßßoå " K! %=¿ d=K ¿ o

# R • ¥V9 s•ã¬9—9 ã RY-éÞY—ã¬ãÞY$—÷s¥Y-s s•×ã—B 9¥ã¥Y 9 9V¥ãYRe¥ÞJ—s¥séç 9 9ÞJ ¥ã Rã—æs ReçYãB •s—R•ã RÞ9¥ Rs¥9—

## üü _U¿ùd ¿” üU¿k _=¿k] =¿

%bùd•• •¦XU¢=¿ iù=¿ù U¿› ùd¿••kƒ” ¶•¢wd w¢¿ê•ƒwùd¿=ùU ¿=ù ¢=wƒ” î=ÕU¿ ®ß!!®0” d=¿Ub

Û çY9ÞYå •ù•¿w• wd ›=wU¿ù &w ¿wd ⇒ ùU¿ •¿U¢U¿› wd U&›” Uq ¢] U¿ ¿w] Uk¿ w ƒ¿ùd¢•¿•ü ] Uùd=¿ %êXiXo ¢ù• ƒw] =› =k¿›” U¿› wd •ù¢U wdüùwü¢ •¦wd ƒw] U¿› wd › =k¿ ùd] •¦ Uùd qU¢wU¢ q¢ ¿w›Ž d ]U4∃ ü] w¢@ü q¢U] q¢ %X êöo ù ùw¢ù•¿w• ] wd•› = U•qw›w ¿dU¿ù wd q• K ¢¦Uùw¢U¿› ›ƒ¿U] =ù q ¢•¢] U¿ù •¦ wd ƒw] ” U¿› &U ›•¿ X êö ù ùw¢ù•¿w• ] wd•›” Uùù•¢=¿k w wd dU¢] ¦ü ¦¦ ùw•¦wd ›ƒ¿U] =ù •U =¿ wd ¢ù• ù•¿w• •¦ •¿U¢” wd ⇒=¿k]•› ùU¢=U& w¢üùwü¢ %bXÆ o ù ùw¢ ù•¿w• ] wd•› = q¢q• ›” U¿› wd ¢&ü w¿ •¦ wd ¢ù• ƒw] = ¦¦ ùwù ƒ∃ q¢ù›Ž d ] ùdU¿=] •¦ wd X êö U¿› iXÆ ù ùw¢ù•¿w• ] wd•› = › ] •¿ w¢Uw› =¿ › wU=” U¿› wd =¢ ¦¦ ùwù ¿ = ù¢‡=›Ž

Þãe s—•çå ⇒ ùU¿ •¿U¢+ ¢ù• +q ¢] U¿ ¿w] Uk¿ w ƒ¿ùd¢•¿•ü ] Uùd=¿ +ù ùw¢ù•¿w• +] U4∃ ü] w¢@ü q¢ U] q¢+ ⇒=¿k]•› ùU¢=U& w¢üùwü¢